

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**DISSERTAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE AICV:  
UM ESTUDO DE CASO DE QUATRO CENÁRIOS DE  
RAÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE**

**RODRIGO AUGUSTO FREITAS DE ALVARENGA**

Florianópolis (SC)

Março, 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE AICV:  
UM ESTUDO DE CASO DE QUATRO CENÁRIOS DE  
RAÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE**

RODRIGO AUGUSTO FREITAS DE ALVARENGA

Orientador: Dr. Sebastião Roberto Soares

*Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-graduação em Engenharia  
Ambiental da Universidade Federal de  
Santa Catarina para a obtenção do título  
de mestre em Engenharia Ambiental*

Florianópolis (SC)

Março, 2010

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

ALVARENGA, Rodrigo Augusto Freitas de

Avaliação de Métodos de AICV: Um Estudo de Caso de Quatro Cenários de Ração para Frangos de Corte. 158p.

Avaliação do Ciclo de Vida, Métodos de AICV, Pegada Ecológica, Pegada de Carbono, Ração para frangos de corte

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – Florianópolis – SC – Março, 2010.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

ALVARENGA, Rodrigo Augusto Freitas de. Avaliação de Métodos de AICV: Um Estudo de Caso de Quatro Cenários de Ração para Frangos de Corte. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

## TERMO DE APROVAÇÃO

### **AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE AICV: UM ESTUDO DE CASO DE QUATRO CENÁRIOS DE RAÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE**

**Rodrigo Augusto Freitas de Alvarenga**

A dissertação foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de:

**MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL.**

Aprovado por:

---

Prof. Fernando Soares Pinto Sant'Anna, Dr.  
ENS / UFSC

---

Prof. Aldo Roberto Ometto, Dr.  
EESC / USP

---

Eng.º Airton Spies, PhD  
Epagri/Cepa

---

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.  
(Coordenador PPGEA/UFSC)

---

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.  
(Orientador)

Florianópolis  
2010

*A minha família, que sempre me apoiou*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Catarina, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), aos funcionários e professores do departamento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro com a concessão de bolsa de estudos.

Ao Professor Sebastião Roberto Soares por sua orientação e por me confiar à realização deste trabalho.

Ao colega Vamílson pelas suas inúmeras explicações e contribuições à minha dissertação.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em ACV (Paola, Andréas, Francieli, Cristiane, Sara, Fernanda, entre outros), aos demais colegas da pós-graduação e aos ex-membros do Grupo de Pesquisa em ACV, que de alguma forma contribuíram na conclusão da minha pesquisa.

À toda minha família, em especial aos meus pais, Carlos e Lúcia, meus irmãos, Carolina e João Vítor, e à Rachel, por sempre me darem todo o apoio necessário para que eu buscasse meus sonhos!

Á todos os meus amigos, que sempre acreditaram em mim (às vezes mais que eu mesmo)!

## RESUMO

A metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV), cujo uso vem crescendo bastante nos últimos anos, inclui uma etapa de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV). Existem diversos métodos de AICV já desenvolvidos, entre eles os holandeses Eco-indicator 99 e CML. Além destes, há alguns métodos mais emergentes, como a Pegada Ecológica e a Pegada de Carbono. A primeira, desenvolvida por Wackernaegel e Rees na década de 1990, foi inicialmente criada para avaliar países, regiões e pessoas, e nos últimos anos vem crescendo seu uso em produtos. A quantificação de emissão de gases de efeito estufa (GEE) em organizações e países já existe há algum tempo e nos últimos anos a Pegada de Carbono vem sendo usada para esse fim em produtos. O objetivo deste estudo é comparar os quatro métodos de AICV citados, qualitativa e quantitativamente. A primeira modalidade de comparação foi feita baseada em seis critérios e a partir de leitura das bibliografias base desses métodos. A comparação quantitativa foi feita realizando a ACV de quatro cenários de produção de ração para frangos de corte. Com as duas análises foi possível observar que o Eco-indicator 99 é vantajoso ao utilizar um grande número de categorias de impacto ambiental, porém apresenta maior subjetividade e unidades de difícil compreensão ao público-alvo. O CML possui a mesma vantagem do método anterior, porém não apresenta procedimentos de agregação, dificultando a decisão entre sistemas. A Pegada Ecológica tem a vantagem de ser um método mais auto-explicativo, no entanto, assim como a Pegada de Carbono, apresenta a desvantagem de usar poucas categorias de impacto ambiental. Pôde-se concluir por este trabalho que métodos de AICV diferentes podem levar a resultados de ACV distintos. Deste modo, ressalta-se a importância de se conhecer a fundo o método antes de utilizá-lo, inicialmente para escolher aquele que atenda as necessidades do estudo, mas também para poder justificar alguns resultados discrepantes e estimar impactos negligenciados. Uma proposta interessante seria realizar estudos de ACV com mais de um método de AICV, auxiliando numa tomada de decisão mais confiável.

**PALAVRAS-CHAVE:** ACV, Métodos de AICV, Pegada Ecológica, Pegada de Carbono, Ração para frangos de corte.

## **ABSTRACT**

The life cycle assessment (LCA) methodology, whose use has grown greatly in recent years, includes a life cycle impact assessment (LCIA) stage. There are several LCIA methods already developed, including the Dutch Eco-indicator 99 and CML. Besides these, there are some other promising methods, such as the Ecological Footprint and Carbon Footprint. The first, created by Wackernaegel and Rees in the 1990s, was initially developed to assess countries, regions and people, and in recent years its use in products has been increased. The quantification of greenhouse gases (GHG) emissions by countries and organizations existed for some time and in the last years Carbon Footprint has been used for this on product assessment. The objective of this study is to compare these four LCIA methods, qualitatively and quantitatively. The first type of comparison was carried out based on six criteria and from reading these methods' base literatures. A quantitative comparison was made by performing the LCA of four scenarios for the production of chicken feed. In both comparisons it was observed that the Eco-indicator 99 is advantageous because it uses a large number of environmental impact categories, but it has more subjectivity and its units are difficult to understand for the target audience. The CML has the same advantage of the previous method, but has no aggregation procedure, making the decision between systems difficult. Ecological Footprint has the advantage of being a more self-explanatory method, however, as Carbon Footprint, it has the disadvantage of using few environmental impact categories. It was concluded by this work that using different LCIA methods lead to different LCA results. Thus, it emphasizes the importance of knowing the strengths and weaknesses of the method before using it, initially to choose one that meets the needs of the study, but also to justify some conflicting results and estimate neglected impacts. An interesting proposal would be to perform LCA studies with more than one LCIA method, as it is already being done by several authors.

**KEYWORDS:** LCA, LCIA methods, Ecological Footprint, Carbon Footprint, Chicken feed



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Elementos da fase de AICV .....	25
Figura 2: Locais de origem do cultivo de milho e soja, processamento da soja e meios de transporte utilizados .....	58
Figura 3: Fluxograma simplificado do sistema de ração de frangos de corte .....	66
Figura 4: Ilustração das formas de apresentação (Unitária e Sistêmica) de ICV .....	67
Figura 5: Contribuição relativa das categorias de impacto ambiental - Eco-indicator 99 .....	76
Figura 6: Contribuição dos processos e dos cenários - Eco-indicator 99 .....	77
Figura 7: Contribuição dos processos em acidificação/eutrofização - Eco-indicator 99 .....	78
Figura 8: Contribuição dos processos em ecotoxicidade - Eco-indicator 99 .....	79
Figura 9: Contribuição dos processos em uso do solo - Eco-indicator 99 .....	80
Figura 10: Contribuição dos processos na categoria mudanças climáticas - Eco-indicator 99 .....	81
Figura 11: Contribuição dos processos na categoria danos respiratórios (inorgânicos) - Eco-indicator 99 .....	82
Figura 12: Contribuição dos processos na categoria consumo de combustíveis fósseis - Eco-indicator 99 .....	83
Figura 13: Contribuição relativa das categorias de impacto ambiental normalizados - CML .....	85
Figura 14: Contribuição dos processos e dos cenários - CML .....	85
Figura 15: Contribuição dos processos na categoria eutrofização - CML .....	86
Figura 16: Contribuição dos processos na categoria acidificação - CML .....	87
Figura 17: Contribuição dos processos na categoria aquecimento global - CML .....	88
Figura 18: Contribuição dos processos na categoria toxicidade humana - CML .....	89
Figura 19: Contribuição dos processos na categoria ecotoxicidade marinha - CML .....	90
Figura 20: Contribuição dos processos em ocupação do solo - CML .....	91
Figura 21: Contribuição dos processos na categoria demanda de energia total acumulada - CML .....	92
Figura 22: Contribuição relativa das categorias da pegada ecológica em cada cenário .....	93
Figura 23: Contribuição dos processos e dos cenários pelo método Pegada Ecológica .....	94
Figura 24: Contribuição dos processos na categoria agricultura - Pegada Ecológica .....	95
Figura 25: Contribuição dos processos na categoria energia - Pegada Ecológica .....	96
Figura 26: Contribuição dos processos e dos cenários pelo método Pegada de Carbono .....	98
Figura 27: Comparação entre os métodos de AICV para a pontuação única .....	101
Figura 28: Comparação entre os métodos de AICV para o aquecimento global .....	103
Figura 29: Comparação entre os métodos de AICV para o uso de solo .....	105
Figura 30: Comparação entre os métodos de AICV para a acidificação e eutrofização .....	106
Figura 31: Comparação entre os métodos de AICV para a ecotoxicidade .....	108
Figura 32: Valores da análise de incerteza pelo método Eco-indicator 99 para quatro diferentes cenários de produção de ração .....	111
Figura 33: Valores da análise de incerteza pelo método CML (modificado) para quatro diferentes cenários de produção de ração .....	112
Figura 34: Valores da análise de incerteza pelo método Pegada Ecológica para quatro diferentes cenários de produção de ração .....	112
Figura 35: Valores da análise de incerteza pelo método Pegada de Carbono para quatro diferentes cenários de produção de ração .....	113
Figura 36: Matriz pedigree para composição de notas do questionário .....	129

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Categorias de impacto ambiental do método ReCiPe 2008.....	30
Quadro 2: Referências utilizadas para avaliação qualitativa dos métodos .....	52
Quadro 3: Siglas dos sistemas de milho e soja .....	55
Quadro 4: Origem dos demais ingredientes utilizados na fabricação da ração de frangos de corte .....	57
Quadro 5: Avaliação qualitativa entre os métodos de AICV .....	63
Quadro 6: Vantagens e desvantagens dos métodos de AICV .....	116
Quadro 7: Bibliografias utilizadas para modelar os processos de cultivo de milho e soja (continua) .....	126
Quadro 8: Bibliografias utilizadas para modelar os processos de cultivo de milho e soja (conclusão).....	127
Quadro 9: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continua) .....	130
Quadro 10: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	131
Quadro 11: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	132
Quadro 12: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	133
Quadro 13: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	134
Quadro 14: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	135
Quadro 15: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	136
Quadro 16: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	137
Quadro 17: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	138
Quadro 18: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	139
Quadro 19: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	140
Quadro 20: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	141
Quadro 21: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	142
Quadro 22: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	143
Quadro 23: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	144
Quadro 24: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	145
Quadro 25: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	146
Quadro 26: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	147
Quadro 27: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	148
Quadro 28: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	149
Quadro 29: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	150
Quadro 30: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	151
Quadro 31: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	152
Quadro 32: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	153
Quadro 33: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	154
Quadro 34: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	155
Quadro 35: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	156
Quadro 36: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação).....	157
Quadro 37: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (conclusão) .....	158

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Composição de ração para frangos de corte .....	45
Tabela 2: Composição média de cada grão para cada região .....	55
Tabela 3: Composição de uma tonelada da ração em estudo.....	59
Tabela 4: Inventário da etapa de cultivo de milho.....	68
Tabela 5: Inventário da etapa de cultivo de soja.....	69
Tabela 6: Inventário da etapa de secagem de grãos.....	70
Tabela 7: Inventário da etapa de processamento da soja.....	70
Tabela 8: Inventário da etapa de produção de ração.....	71
Tabela 9: Inventário da etapa de transporte de milho.....	71
Tabela 10: Inventário da etapa de transporte de soja.....	71
Tabela 11: Inventário da etapa de transporte dos demais insumos .....	72
Tabela 12: ICV dos quatro cenários de produção de ração (continua) .....	73
Tabela 13: ICV dos quatro cenários de produção de ração (continuação).....	74
Tabela 14: ICV dos quatro cenários de produção de ração (conclusão).....	75
Tabela 15: Valor de pontuação única dos quatro cenários .....	101
Tabela 16: Classificação dos cenários .....	101
Tabela 17: Equivalência entre os resultados finais dos métodos de AICV .....	102
Tabela 18: Valores normalizados de aquecimento global nos quatro métodos de AICV .....	104
Tabela 19: Fatores de caracterização referentes à acidificação e a eutrofização .....	107
Tabela 20: Classificação dos cenários para ecotoxicidade .....	108
Tabela 21: Fatores de caracterização de ecotoxicidade e ecotoxicidade marinha .....	109
Tabela 22: Resultado da análise de incerteza na ACV de diferentes cenários de produção de ração de aves para quatro diferentes métodos de AICV .....	110
Tabela 23: Possibilidades de classificações de melhor desempenho ambiental para quatro diferentes cenários de produção de ração de aves usando o método da Pegada de Carbono .....	113
Tabela 24: Classificações possíveis de desempenho ambiental dos quatro diferentes cenários de produção de ração de aves após análise de incertezas usando diferentes métodos de AICV .....	114

## LISTA DE ABREVIATURAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ICV	Análise de Inventário do Ciclo de Vida
PE	Pegada Ecológica
PC	Pegada de Carbono
EI99	Eco-indicator 99
GEE	Gases de Efeito Estufa
PAG	Potencial de Aquecimento Global
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
BSI	<i>British Standard Institute</i> (Instituto de Padronização Britânico)
GPACV	Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCV	Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
DEFRA	Departamento Britânico de Meio Ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais
PAS 2050	<i>Publicly Available Specification</i> 2050 (que significa Especificação Disponível Publicamente, número 2050)
CW-CW	Cenário de ração com milho e soja da região centro-oeste do Brasil
CW-SO	Cenário de ração com milho da região centro-oeste e soja da região sul do Brasil
SO-CW	Cenário de ração com milho da região sul e soja da região centro-oeste do Brasil.
SO-SO	Cenário de ração com milho e soja da região sul do Brasil
tkm	Unidade de transporte (Tonelada x quilômetro)
m <sup>2</sup> a	Unidade de ocupação de área (m <sup>2</sup> x ano)
DALY	Unidade usada na categoria Saúde Humana do método Eco-indicator 99
PDF*m <sup>2</sup> a	Unidade usada na categoria Qualidade dos ecossistemas do método Eco-indicator 99
MJeq.	Mega joule equivalente (Unidade usada na categoria Recursos do método Eco-indicator 99)
Pt	Pontos (Unidade usada na pontuação final do método Eco-indicator 99)
CO <sub>2</sub> eq	Dióxido de carbono equivalente (Unidade usada para quantificar a categoria aquecimento global).

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1. JUSTIFICATIVA.....	17
1.2. OBJETIVOS.....	19
1.2.1. <i>Objetivo geral</i> .....	19
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	19
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) .....	21
2.1.1. <i>A metodologia da ACV</i> .....	21
2.1.2. <i>Etapas da ACV</i> .....	22
2.1.3. <i>Incerteza de dados</i> .....	26
2.1.4. <i>Críticas</i> .....	27
2.2. MÉTODOS ECO-INDICATOR 99 E CML.....	28
2.2.1. <i>Ecoindicator 99</i> .....	28
2.2.2. <i>CML</i> .....	29
2.2.3. <i>ReCiPe 2008: Uma união dos métodos holandeses</i> .....	29
2.3. PEGADA ECOLÓGICA .....	31
2.3.1. <i>Definição</i> .....	31
2.3.2. <i>A metodologia</i> .....	32
2.3.3. <i>Alguns exemplos de estudos</i> .....	36
2.3.4. <i>Críticas</i> .....	37
2.4. PEGADA DE CARBONO.....	40
2.4.1. <i>Introdução</i> .....	40
2.4.2. <i>A metodologia</i> .....	41
2.5. SISTEMA DE RAÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE .....	45
2.5.1. <i>Ração</i> .....	45
2.5.2. <i>Cultivo de milho</i> .....	46
2.5.3. <i>Cultivo de soja</i> .....	46
2.5.4. <i>Manejo de solos</i> .....	47
2.5.5. <i>Pós-colheita</i> .....	49
2.5.6. <i>Produção de ração</i> .....	50
2.5.7. <i>Transporte</i> .....	50
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>51</b>
3.1. AVALIAÇÃO QUALITATIVA.....	51
3.2. ESTUDO DE CASO .....	52
3.2.1. <i>Cenários</i> .....	53
3.2.2. <i>Especificações do cultivo de grãos</i> .....	54
3.2.3. <i>Etapa de pós-colheita</i> .....	56
3.2.4. <i>Etapa de processamento da soja</i> .....	56
3.2.5. <i>Especificações dos transportes</i> .....	57
3.2.6. <i>Especificações da produção de ração</i> .....	58
3.2.7. <i>Especificações dos métodos de AICV escolhidos</i> .....	59
3.3. AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ESTUDO DE CASO .....	61
3.4. AVALIAÇÃO FINAL DOS MÉTODOS DE AICV.....	61
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>62</b>
4.1. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS MÉTODOS DE AICV .....	62
4.2. OBJETIVO E ESCOPO DO ESTUDO DE CASO .....	65
4.3. ICV DO ESTUDO DE CASO .....	65
4.4. AICV DO ESTUDO DE CASO .....	76
4.4.1. <i>Eco-indicator 99</i> .....	76
4.4.2. <i>CML (modificado)</i> .....	84
4.4.3. <i>Pegada Ecológica</i> .....	92
4.4.4. <i>Pegada de Carbono</i> .....	97
4.4.5. <i>Hotspots encontrados</i> .....	99

4.4.6.	<i>Comparação dos resultados de pontuação única dos métodos de AICV.....</i>	<i>100</i>
4.4.7.	<i>Comparação entre categorias de impacto equivalentes.....</i>	<i>102</i>
4.5.	ANÁLISE DE INCERTEZA DOS CENÁRIOS EM ESTUDO.....	110
4.6.	DISCUSSÃO FINAL DOS MÉTODOS DE AICV .....	114
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>117</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>119</b>
<b>7.</b>	<b>APÊNDICE A – BIBLIOGRAFIA USADA NOS PROCESSOS DE MILHO E SOJA .....</b>	<b>126</b>
<b>8.</b>	<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ESPECIALISTAS PARA ANÁLISE DE INCERTEZA DE DADOS.....</b>	<b>128</b>
<b>9.</b>	<b>APÊNDICE C - ICV DOS QUATRO CENÁRIOS REPRESENTADO SOB A FORMA SISTÊMICA (EM INGLÊS).....</b>	<b>130</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que analisa os aspectos ambientais de um determinado sistema (produto, serviço ou organização) e avalia seus impactos ambientais, durante todo seu ciclo de vida. Ela pode ser usada para comparar dois ou mais sistemas, ou um sistema em função de uma referência, sendo utilizada nos mais diversos setores econômicos.

A ACV é dividida em quatro etapas: (1) Objetivo e escopo; (2) Análise de inventário do ciclo de vida (ICV); (3) Avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV); (4) Interpretação. Na terceira etapa quantificam-se os impactos ambientais dos sistemas a partir dos aspectos ambientais levantados.

Algumas metodologias de avaliação ambiental foram desenvolvidas e, aos poucos, foram sendo incorporadas a ACV como um método de AICV, como é o caso da Pegada Ecológica e da Pegada de Carbono.

A Pegada Ecológica, criada pelos pesquisadores Wackernaegel e Rees (CHAMBERS; SIMMONS; WACKERNAGEL, 2000; WACKERNAGEL; REES, 1996; WACKERNAGEL; YOUNT, 1998), tem como função original avaliar a sustentabilidade de regiões. Aos poucos, viu-se a possibilidade de se utilizar esta metodologia para avaliar produtos também, tanto que na norma produzida pela organização *Global Footprint Network* (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2009) já há uma parte que trata a respeito da Pegada Ecológica em produtos. Muitos trabalhos, como Niccolucci et. al. (2008), Van Der Werf et. al. (2007) e Frey, Harrison e Billet (2006), relatam que realizaram uma Pegada Ecológica de um determinado produto, enquanto que outros, como Huijbregts et. al. (2008), relatam que realizaram uma ACV de um produto utilizando a Pegada Ecológica como método de AICV. Analisando estas diferenças de nomenclatura e o que é definido na referida norma, será considerado neste estudo que as duas formas são iguais e que a nomenclatura correta é a realização de uma ACV com a Pegada Ecológica como método de AICV.

A quantificação de carbono em organizações cresceu consideravelmente com o Protocolo de Quioto (UNITED NATIONS, 1998). No Protocolo GHG (WORLD BUSINESS COUNCIL



FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT; WORLD RESOURCE INSTITUTE, 2004) é dito que a quantificação de carbono além dos limites da organização (escopo 3) é opcional. Após este início, a quantificação de carbono começou a expandir, começando a ser usada em produtos também, onde se viu a necessidade de realizar o estudo ao longo de todo o ciclo de vida. Em 2008 foi criada uma norma britânica para padronizar a quantificação de carbono em produtos e a *International Organization for Standardization* (ISO) pretende fazer o mesmo nos próximos anos, denominando-a de ISO 14067 (BSI; CARBON TRUST; DEFRA, 2008a; b, FINKBEINER, 2009). Também há diferenças em nomenclaturas na quantificação de carbono em produtos. Alguns autores, como Johnson (2008), relatam que realizaram a Pegada de Carbono num determinado produto. Por outro lado há autores, como Finkbeiner (2009), que acreditam que ela é a realização de uma ACV de determinado produto utilizando a Pegada de Carbono como método de AICV. Nesse estudo será considerado que as duas formas são exatamente iguais e que a Pegada de Carbono é a realização de uma ACV com a Pegada de Carbono (que utiliza o modelo de caracterização do IPCC) como método de AICV.

O uso da ACV no setor agrícola vem crescendo bastante nos últimos anos, principalmente por este setor produzir *commodities* com grande procura internacional. A tentativa de caracterização única de produtos agrícolas brasileiros, como milho e soja, pode ser equivocada devido à alta variabilidade geográfica do país. Por isso, vê-se a necessidade de avaliar os impactos ambientais de produtos nas diferentes regiões do Brasil, visualizar se há diferenças ambientais e quão grandes elas são.

Para dar suporte ao objetivo principal deste estudo (avaliar métodos de AICV), um dos objetivos específicos deste trabalho é avaliar quatro cenários de produção de ração, com milho e soja originários da região centro-oeste ou sul do Brasil, a partir de quatro métodos de AICV: dois mais clássicos (CML e Eco-indicator 99) e dois mais emergentes (Pegada Ecológica e Pegada de Carbono).

### 1.1. JUSTIFICATIVA

O Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida (GPACV), da Universidade Federal de Santa Catarina, realiza pesquisas na área de ACV há mais de sete anos. Sob coordenação do

professor Dr. Sebastião Roberto Soares, diversas Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado já foram elaboradas neste período, além de publicações em congressos e revistas. Desta maneira, é indiscutível o domínio desta metodologia pelo grupo.

O intuito é se buscar novas metodologias e tecnologias para obter um conhecimento mais amplo na área de Gestão Ambiental. Assim, esta pesquisa se insere na introdução dos métodos Pegada Ecológica e Pegada de Carbono no Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida.

A Avaliação do Ciclo de Vida possui uma boa reputação no meio científico sendo considerada uma das principais metodologias de avaliação ambiental de produtos. Uma etapa importante desta metodologia é a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV). Atualmente existem diversos métodos de AICV, elaborados em sua maioria por universidades e centros de pesquisa. Como exemplos pode-se citar o Eco-indicator 99, CML, Impact 2002+, LUCAS, EDIP 2003, entre outros. Por outro lado, existem algumas metodologias de avaliação ambiental que foram adaptadas para serem utilizadas como métodos de AICV, dentro de um estudo de ACV. Alguns exemplos são os estudos de Emergia (*Emergy*), Exergia (*Exergy*), a Pegada Ecológica (*Ecological Footprint*) e a Pegada de Carbono (*Carbon Footprint*). Este trabalho visa conhecer a fundo dois métodos de AICV (Eco-indicator 99 e CML) e duas metodologias utilizadas como métodos de AICV (Pegada Ecológica e Pegada de Carbono), aplicando-as em um estudo de caso de ração de frangos de corte. A partir deste estudo esperam-se avaliar as principais vantagens e desvantagens de cada método e as diferenças existentes entre elas, para assim, fazer uma análise crítica dos métodos e propor usos preferenciais.

A norma ISO 14.025, que trata sobre a rotulagem ambiental nível III de produtos e serviços, foi elaborada em 2006 e está em fase de tradução pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Nela fica claro que para se conseguir este selo é necessário utilizar a metodologia de ACV. A partir disso, é possível visualizar a importância desta metodologia e, conseqüentemente, o seu profundo conhecimento. É possível que outras metodologias, como a Pegada Ecológica e a Pegada de Carbono, por exemplo, se tornem úteis para conseguir certas rotulagens no futuro, devido à complexidade que há na ACV.

É possível observar o uso da ACV e também das metodologias da Pegada Ecológica e da Pegada de Carbono (sem fazer referência a ACV) em diversos estudos de avaliações ambientais, porém, não se sabe qual delas é a mais correta para cada caso e também muitas vezes não há justificativas do por que de seu uso ao invés de outra metodologia.

Escolheram-se os métodos Pegada Ecológica e Pegada de Carbono por haver muita discussão no meio acadêmico a respeito de seus usos na ACV, e também pela sua importância demonstrada pela criação de normas específicas para elas (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2009; BSI; CARBON TRUST; DEFRA, 2008a; b). Para comparar com esses, optou-se pelo Eco-indicator 99 e pelo CML, por serem métodos já consagrados no meio acadêmico e também por serem precursores do método ReCiPe 2008. Não se optou por esse último por ser muito novo e ainda estar em fase de ajustes.

A escolha pelo sistema de produção de ração foi devido aos seus resultados serem parte de um projeto maior, que na época da realização do projeto de dissertação, estava em andamento pelo GPACV.

O interesse desta pesquisa é conhecer as vantagens e desvantagens de cada método e poder responder perguntas como: Qual método de AICV é melhor para cada caso? Isso porque se acredita que através do conhecimento dos métodos mais eficazes e mais apropriados para cada tipo de atividade, é possível realizar um maior controle das poluições antrópicas, e conseqüentemente buscar o Desenvolvimento Sustentável.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar quatro métodos de AICV usando como estudo de caso a ACV de quatro cenários de produção de ração para frangos de corte

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Fazer uma análise qualitativa dos métodos de AICV;

- Elaborar o ICV de quatro cenários de ração;
- Avaliar os impactos ambientais dos quatro cenários de ração usando quatro métodos (Eco-indicator 99, CML, Pegada Ecológica e Pegada de Carbono);
- Avaliar o resultado final dos quatro cenários pelos quatro métodos de AICV, com e sem análise de incertezas;
- Avaliar o uso dos métodos para o setor agrícola.

Este trabalho está dividido em quatro etapas. Primeiramente é apresentada uma revisão bibliográfica para se dar um suporte a leitura posterior. Após isso há a metodologia, que explica como o trabalho foi conduzido. A terceira etapa é a análise e discussão dos resultados e finalmente, na última etapa são relatadas as conclusões obtidas e recomendações para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)**

#### **2.1.1. A metodologia da ACV**

Todo produto, independente de que material seja feito (madeira, vidro, plástico, metal ou qualquer outro elemento), provoca um impacto no meio ambiente, seja em função de seu processo produtivo, das matérias-primas que consome, ou devido ao seu uso ou disposição final (CHEHEBE, 1998).

A crescente conscientização sobre a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos associados a produtos manufaturados e consumidos tem aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e diminuir estes impactos. Uma das técnicas em desenvolvimento com este propósito é a Avaliação do ciclo de vida (ACV), (ISO, 2006a).

De acordo com Chehebe (1998), a ACV é uma metodologia para a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no processo produtivo (berço) até a disposição do produto final (túmulo). As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas (ISO, 2006a; b).

A série de normas ISO 14040 (ISO 14040:1997, ISO 14041:1999, ISO 14042:2000, ISO 14043:2000) foi um importante passo para consolidar a metodologia de ACV. A partir de 2002 estas normas passaram por algumas revisões, sendo criadas as normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. De uma maneira geral, a primeira norma fornece os princípios e a estrutura da ACV e a segunda as exigências e diretrizes (FINKBEINER et al., 2006). Estas normas foram traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e publicadas em maio de 2009, sob a denominação de NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044.

Segundo a Norma ISO 14044, a ACV pode ajudar (ISO, 2006b):

- Na identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida;
- Na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais (por exemplo, planejamento estratégico, definição de prioridades, projeto ou reprojeto de produtos ou processos);
- Na seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição;
- No marketing (por exemplo, uma declaração ambiental, um programa de rotulagem ecológica ou uma declaração ambiental de produto).

A ACV inclui quatro fases:

- Definição do Objetivo e Escopo do estudo;
- Análise do Inventário de Ciclo de Vida;
- Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida;
- Interpretação.

As normas ISO 14040 e ISO 14044 prevêm ainda o desenvolvimento de um relatório para o público-alvo, de forma fiel, completa e exata, além de uma análise crítica de toda a ACV (ISO, 2006a; b).

Duas diferentes abordagens de ACV podem ser usadas (REBITZER et al., 2004):

- ACV Atribucional (*attributional LCA*): Esta abordagem descreve os fluxos de consumo de recursos e de emissão de poluentes do sistema escolhido, ajustado para a unidade funcional pré-determinada;
- ACV Consequencial (*consequential LCA*): Esta abordagem estima a variação de consumo de recursos e emissão de poluentes devido às alterações promovidas num sistema.

### **2.1.2. Etapas da ACV**

#### **a) Objetivo e escopo**

É nesta fase que é definida a razão principal do estudo e são dadas maiores explicações de como ele será conduzido. O objetivo e o escopo devem ser definidos claramente, sendo consistentes com a aplicação desejada (GUINÉE, 2002; ISO, 2006a; b).

Ao se definir o objetivo, deve-se deixar claro qual a intenção da aplicação, quais são as razões para realizar o estudo, qual o público-alvo e se o estudo será usado para fins comparativos. No escopo deve-se deixar clara a unidade funcional do sistema em estudo, bem como as funções do sistema. Outros itens também deve ser estabelecidos nesta etapa, como as fronteiras do sistema, os procedimentos de alocação, os métodos de AICV, como será realizada a fase de interpretação, requerimentos de dados, suposições, limitações, etc. Devido à natureza interativa da ACV, o escopo pode ser alterado ao longo do estudo (GUINÉE, 2002; ISO, 2006a; b).

#### **b) Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)**

A análise de inventário é a fase de coleta e quantificação de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólidos, etc.), envolvidas durante o ciclo de vida de um produto, processo ou atividade (GUINÉE, et. al., 2002; ISO, 2006a; b).

De acordo com as Normas ISO 14044, o ICV deve ser realizado em três etapas (ISO, 2006b):

- Coleta de dados: Os dados quantitativos e qualitativos devem ser coletados para cada processo unitário que está incluso nas fronteiras do sistema, e serão utilizados para quantificar suas entradas e saídas.
- Cálculo dos dados: Todos os cálculos e suposições devem ser documentados. Deve-se realizar uma validação dos dados, para confirmar e fornecer evidências que os requerimentos de dados foram atingidos. Os dados deverão ser relacionados aos processos unitários e a unidade funcional. Se necessário, um refinamento das fronteiras do sistema poderá ser realizado.
- Alocação: As entradas e saídas deverão ser alocadas aos diferentes produtos, de acordo com procedimentos definidos na etapa de Objetivo e Escopo. Existem diversos métodos de alocação e alguns são apresentados em (RAMÍREZ, 2009).

A etapa de ICV (coleta e compilação de dados) é considerada a mais trabalhosa e a que consome mais tempo num estudo de ACV. É possível realizar esta etapa de diversas maneiras, que são divididas nos seguintes grupos (SUH; HUPPES, 2005):

- (1) Por fluxogramas (ou baseada no processo): Essa maneira aparece nas primeiras literaturas de ACV. Por este método, os processos de um produto são interconectados e, usando álgebra simples, quantificam-se as entradas e saídas de cada processo em função da unidade funcional e conseqüentemente obtém-se o ICV do sistema;
- (2) Representação matricial de sistema de produto: Por este método os cálculos são realizados a partir de operações matriciais;
- (3) Input-Output (I/O-LCA): Utilizam-se dados de fluxo de setores econômicos, ao invés de processos unitários. Apresenta um detalhamento pequeno dos impactos ambientais e a possível diferenciação entre produtos é limitada. Por esse motivo, é recomendada para avaliar impactos ambientais de um projeto específico ou para comparar produtos com grandes diferenças em suas características (REBITZER et al., 2004);
- (4) Abordagens híbridas: Como a *I/O-LCA* é rápida e a por fluxogramas é mais completa, usualmente utilizam-se as duas juntamente, criando métodos híbridos. Suh e Hupples (2005) apresentam três métodos híbridos de ICV.

c) Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A fase de AICV é a etapa onde, a partir da análise de inventário, os impactos ambientais são avaliados qualitativamente e quantitativamente, buscando-se avaliar a magnitude e a significância deles. O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e as metodologias usadas dependem do objetivo e do escopo do estudo (GUINÉE, et. al., 2002; ISO, 2006a; b).

A AICV é uma etapa da ACV e, diferente de outras metodologias como Avaliação de Desempenho Ambiental, Estudo de Impacto Ambiental e Análise de Risco, utiliza uma abordagem relativa, baseada numa unidade funcional. Como pode ser observado na Figura 1, ela possui em sua estrutura elementos obrigatórios e opcionais (ISO, 2006b):

- Elementos Obrigatórios: Seleção de categorias de impacto, indicadores das categorias e modelos de caracterização, ligação dos resultados da ICV às categorias de impacto selecionadas (classificação) e cálculo dos resultados dos indicadores das categorias (caracterização);
- Elementos Opcionais: Normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade dos dados.



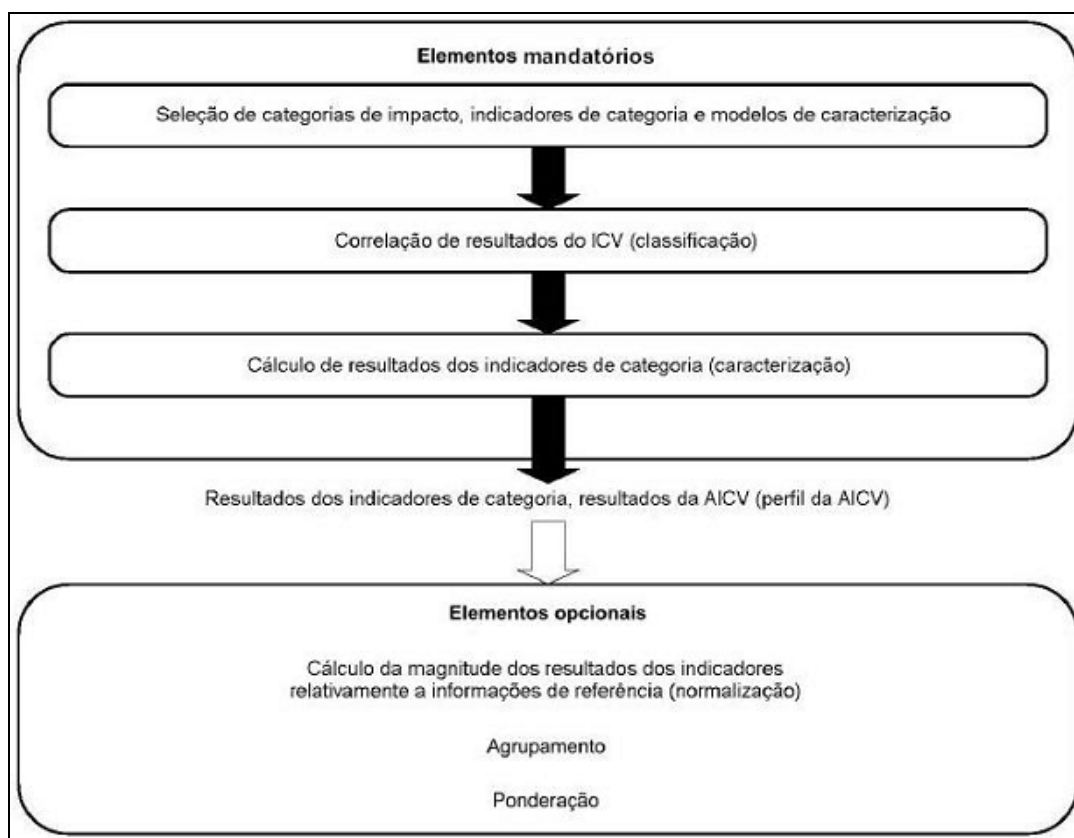


Figura 1: Elementos da fase de AICV  
Fonte: NBR ISO 14040 (2009)

Dois grupos de métodos de AICV foram desenvolvidas (JOLLIET et al., 2003):

- (1) Métodos clássicos: Restringem a modelagem quantitativa para os estágios iniciais da cadeia de causa-efeito, para diminuir as incertezas. Esse grupo compila os resultados do ICV em categorias de pontos médios (*midpoint*), como ecotoxicidade e acidificação, por exemplo. Como exemplo, pode-se citar o CML e o EDIP.
- (2) Métodos orientados ao dano: Estes tentam modelar a cadeia de causa-efeito até os pontos finais, ou dano (*endpoint*), como saúde humana e qualidade do ecossistema e, por esse motivo, geralmente apresentam maiores incertezas. Como exemplo há o Eco-Indicator 99.

Existem diversos métodos de AICV que já foram desenvolvidos pelo mundo, como por exemplo: CML (Holanda), Eco-Indicator 99 (Holanda), EDIP 2003 (Dinamarca), EPS2000d (Suécia), Impact2002+ (Suíça), TRACI (EUA), LIME (Japão), LUCAS (Canadá) e SALCA (África do Sul), (SOUSA, 2008).

#### d) Interpretação

É na fase de Interpretação que as constatações da análise do inventário e da avaliação de impactos são combinadas, de forma consistente, com o objetivo e o escopo definidos, visando alcançar conclusões e recomendações para os tomadores de decisão. Ela é dividida nas seguintes partes (GUINÉE, et. al., 2002; ISO, 2006a; b):

- Alterações necessárias nas etapas anteriores (objetivo, escopo, coleta de dados e categorias de impacto);
- Verificação de completeza: Avaliar se todos os dados e procedimentos já foram usados e realizados;
- Verificação de sensibilidade;
- Verificação de consistência;
- Demais Verificações.

### **2.1.3. Incerteza de dados**

Geralmente, os dados de entradas e saídas de um ICV são valores médios. Por este motivo, devem-se avaliar as incertezas dos dados ao final da ACV, ou seja, na etapa de interpretação. Uma maneira muito comum de se fazer isso é analisar a sensibilidade do resultado final a partir da incerteza existente nos dados. Diferentes tipos de incertezas podem existir (FRISCHKNECHT et al., 2007):

- Variabilidade e erros estocásticos devido a incertezas na medição, variação em processos específicos, variações temporais, etc;
- Uso de dados secundários aproximados, por exemplo, na falta de informação a respeito de um processo qualquer, usa-se a informação de um outro processo, que é parecido com o primeiro;
- Incerteza nos modelos de caracterização;
- Negligenciar fluxos importantes.

No entanto, somente o primeiro tipo de incerteza pode ser expresso em termos quantitativos para cada processo. Em casos de dados secundários<sup>1</sup>, geralmente a incerteza de um processo não está disponível, já que a fonte de informação fornece somente os dados médios, sem a incerteza. Para estas situações Frischknecht et al. (2007) propõe o uso da matriz *pedigree* para

---

<sup>1</sup> Dados secundários são os obtidos a partir de outros estudos, enquanto que dados primários são obtidos pelo próprio pesquisador.

estimativa as incertezas. Esta ferramenta gera valores de desvio padrão para cada fluxo de entrada ou saída a partir de um questionário aplicado a especialistas.

#### 2.1.4. Críticas

Existem diversas metodologias de avaliação ambiental, sendo a ACV a mais abrangente delas. Contudo, uma dificuldade existente nesta metodologia é a grande quantidade de dados necessários para se fazer a análise (HUIJBREGTS et al., 2006). Apesar disso, pode-se dizer que para realizar a avaliação ambiental de um produto, a ACV é uma das metodologias mais úteis, pois esta incorpora uma visão integrada das soluções para os problemas ambientais, tornando-as mais eficazes. Estudos em ACV embasam medidas mitigadoras preventivas, caracterizadas por ações de produção mais limpa e *ecodesign* (OMETTO, 2005).

Para tentar tornar a ACV uma metodologia voltada a sustentabilidade, foram criadas outras abordagens, relacionando o meio ambiente aos outros dois vértices (social e econômico) do tripé do Desenvolvimento Sustentável. Atualmente são conhecidas como Custo do Ciclo de Vida, ou *Life cycle costing* (LCC), e a Avaliação Social do Ciclo de Vida, ou *Societal life cycle assessment* (SLCA). Atualmente existem duas possibilidades de se unir essas três metodologias em uma só: A primeira seria criar uma Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida (ASCV) que seria a soma das três abordagens, sem ponderação entre elas. A outra possibilidade seria inserir a LCC e a SLCA como categorias de impacto na AICV. Porém, para isso, deve-se primeiramente criar normas internacionais (ISO ou SETAC) para estas duas novas abordagens (KLOEPFFER, 2008).

A ACV é uma metodologia muito útil para diversos propósitos, como apresentado anteriormente. Porém, ela ainda precisa de muito aprimoramento em toda sua estrutura. Há diversos problemas encontrados em cada etapa, que devem ser aprimorados. Na etapa de Objetivo e Escopo, os problemas são a definição da unidade funcional, a seleção dos limites do sistema, a necessidade de inclusão de impactos econômicos e sociais e as considerações de cenários alternativos. As principais dificuldades da etapa de ICV são os métodos de alocação, os critérios de retirada de substâncias do inventário (*'cut-off'*) e as especificidades técnicas locais ao longo do ciclo de vida do produto. Na etapa de AICV, os problemas são: Seleção das categorias de impacto, modelos e método de AICV; variação espacial dos impactos; especificidades nos meios ambientes locais; dinâmica do meio ambiente e horizonte temporal.

Na etapa de Interpretação existe a incorporação de valores subjetivos na ponderação e as incertezas no processo de decisão. Analisando como um todo, a ACV apresenta ainda o problema de qualidade e disponibilidade de dados (REAP et al., 2008a; b).

## 2.2. MÉTODOS ECO-INDICATOR 99 E CML

### 2.2.1. Ecoindicator 99

O Eco-indicator 99 foi desenvolvido pela empresa PRé Consultants. Este método é *endpoint* e contempla etapas opcionais de AICV (normalização, ponderação e agregação). Para a etapa de normalização são empregados valores de referência baseados no inventário total de massa e energia da Europa Ocidental por ano por pessoa, utilizando o ano de 1993 como base e uma população de 495 milhões de pessoas (GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2001; SOUSA, 2008).

Esse método divide a avaliação em três abordagens (GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2001):

- (1) Igualitária: que fornece uma perspectiva em longo prazo, sendo qualquer comprovação científica suficiente para contemplar um modelo de caracterização;
- (2) Individualista: que fornece uma perspectiva em curto prazo, sendo que somente efeitos provados sustentam a inserção de modelos de caracterização;
- (3) Hierárquica: A inclusão de efeitos foi feita a partir de consenso entre especialistas. Esta é a sugerida como padrão pelos seus autores.

As categorias de danos (*endpoint*) e de impacto ambiental (*midpoint*) contempladas nesse método são:

- Saúde Humana:
  - Substâncias Carcinogênicas;
  - Efeitos respiratórios (causado por substâncias orgânicas);
  - Efeitos respiratórios (causado por substâncias inorgânicas);
  - Mudanças climáticas;
  - Radiação ionizante;
  - Depleção da Camada de ozônio.
- Qualidade do Ecossistema
  - Ecotoxicidade;

- Acidificação/Eutrofização;
- Uso do solo
- Consumo de recursos
  - Consumo de minerais;
  - Consumo de combustíveis fósseis.

### 2.2.2. CML

O método CML foi desenvolvido pelo Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden (CML), na Holanda. Na etapa de normalização são propostas quatro categorias, que variam geograficamente: Holanda para o ano de 1997, Europa Ocidental para o ano de 1995 e Mundial, para os anos de 1990 e 1995. Este método é *midpoint*, não sendo contemplados procedimentos de ponderação e agregação. Suas categorias de impacto são (GUINÉE, 2002; SOUSA, 2008):

- Depleção de recursos abióticos;
- Aquecimento global;
- Depleção da camada de ozônio;
- Toxicidade humana;
- Formação de oxidantes fotoquímicos;
- Ecotoxicidade;
- Eutrofização;
- Acidificação.

### 2.2.3. ReCiPe 2008: Uma união dos métodos holandeses

Existe um método mais novo denominado ReCiPe 2008, que recebeu este nome por fornecer uma “receita” (em inglês, *recipe*), para calcular os indicadores de impacto do ciclo de vida e por representar as iniciais dos institutos que deram grandes contribuições no projeto (RIVM, a Radboud University Nijmegen, o centro de pesquisa CML da Universidade de Leiden e a empresa PRé Consultants). Ele possui harmonia nos seus princípios e nas suas escolhas de modelagem e oferece resultados em níveis de *midpoint* e *endpoint*. Utilizou como base os métodos CML (GUINÉE, 2002) que fornece a abordagem *midpoint*, e o método Eco-Indicator 99 (GOEDKOOP; SPRIENSMA, 2001) que fornece a abordagem *endpoint*. Seguindo o

método Eco-Indicator 99, o ReCiPe 2008 foi desenvolvido em três versões de ponderação e normalização das categorias de impacto, utilizando a teoria de perspectivas culturais (desenvolvida por Mary Douglas e Aaron Wildavsky), onde estabelece-se conjuntos consistentes de escolhas subjetivas que são agrupados em três perspectivas: Individualista, Hierarquizada e Igualitária. Suas categorias de impacto de *midpoint* e danos (*endpoint*), estão no quadro abaixo (GOEDKOOPE et al., 2009):

<i>Midpoint</i>	<i>Endpoint</i>
Mudanças climáticas Depleção da camada de ozônio Acidificação terrestre Eutrofização de água doce Eutrofização marinha Toxicidade humana Formação de oxidantes fotoquímicos Formação de material particulado Ecotoxicidade terrestre Ecotoxicidade em água doce Ecotoxicidade marinha Radiação ionizante Ocupação de solo agrícola Ocupação de solo urbano Transformação de solo natural Depleção de água Depleção de recursos minerais Depleção de combustíveis fósseis	Danos à saúde humana Danos à diversidade dos ecossistemas Danos à disponibilidade de recursos

Quadro 1: Categorias de impacto ambiental do método ReCiPe 2008

## 2.3. PEGADA ECOLÓGICA

### 2.3.1. Definição

A metodologia denominada *Ecological Footprint*<sup>2</sup>, ou “Pegada Ecológica”, é definida como o espaço ecológico correspondente para sustentar um determinado sistema. Seu processo de avaliação reforça sempre a visão da dependência da sociedade humana em relação a seu ecossistema (WACKERNAGEL; REES, 1996).

Wackernagel e Yount (1998) comentam que existem muitas teorias na Ecologia que tratam da determinação dos fatores limitantes para as populações humanas, como comida, por exemplo, e outras estimações utilizam o conceito da capacidade de carga, que corresponde à máxima população que pode ser suportada na superfície da Terra. A Pegada Ecológica (PE) segue o caminho inverso, determinando a quantidade de área necessária para suportar uma determinada população.

A PE é descrita como uma ferramenta que transforma o consumo de matéria-prima e a produção de resíduos (líquidos, sólidos ou gasosos), de um sistema econômico ou população humana, em área de terra ou água produtiva. Desta maneira, esta ferramenta traduz a área necessária para assegurar a sobrevivência de uma determinada população ou sistema (VAN BELLEN, 2004; WACKERNAGEL; REES, 1996).

A pegada ecológica pode ser fundamentada em três princípios: sustentabilidade, equidade e *overshoot* (CIDIN; SILVA, 2004):

- O primeiro, a sustentabilidade, visa satisfazer as necessidades humanas no presente e no futuro sem destruir a capacidade da natureza em regenerar e absorver os resíduos;
- A equidade pode ser analisada de três formas: (1) equidade entre gerações ao longo do tempo; (2) equidade nacional e internacional em tempos atuais, dentro e entre nações; (3) equidade entre espécies.
- O terceiro princípio, *overshoot*, refere-se ao limite existente em relação a todas energias e matérias. Ou seja, que a partir de um certo ponto, o crescimento material só

---

<sup>2</sup> O termo *footprint* também é habitualmente utilizado como sinônimo de impacto ambiental.

pode ser adquirido às custas da depleção do capital natural e da diminuição dos serviços para a manutenção da vida.

Van Bellen (2004) relata que o método da PE consiste em definir a área necessária para manter uma determinada população ou sistema econômico indefinidamente, fornecendo energia e recursos naturais e capacidade de absorver os resíduos ou dejetos do sistema.

O diferencial entre a PE e as demais metodologias de avaliação ambiental é a maneira como ela interpreta os impactos ambientais causados por ação humana, pois agrega esses impactos ambientalmente, expressando-os em espaços ecológicos nos quais são necessários para fornecer os serviços à referida população humana. Essa maneira de interpretação biogeográfica utilizada pelo conceito de PE tem a vantagem de tornar os resultados mais acessíveis, além de ser possível comparar de maneira simples a “necessidade” humana por espaço com o existente na Terra (WACKERNAGEL; YOUNT, 1998). Wiedmann e Lenzen (2007) relatam que a PE facilita a visualização e compreensão da demanda humana em recursos bióticos por expressar os componentes de impactos em área de terra (ou água) equivalente.

A PE pode ser utilizada para avaliar a sustentabilidade global de nações, regiões, organizações, serviços, produtos e residências (CHAMBERS; SIMMONS; WACKERNAGEL, 2000).

### **2.3.2. A metodologia**

O procedimento de cálculo da metodologia PE é baseado na idéia de que para cada item de matéria ou energia consumida por um sistema, existe certa área de terra, em um ou mais ecossistemas, que é necessária para fornecer o fluxo destes recursos e absorver seus resíduos. Como não é possível estimar a demanda por área produtiva para fornecimento, manutenção e disposição de milhares de bens de consumo, os cálculos se restringem às categorias consideradas mais importantes e a alguns itens individuais (VAN BELLEN, 2004; WACKERNAGEL; REES, 1996).

Existem duas formas complementares de se calcular a PE, denominadas de abordagens *Compound* e *Component* (CHAMBERS; SIMMONS; WACKERNAGEL, 2000):



➤ Abordagem Compound:

O método de cálculo pela abordagem *Compound* é mais robusto e utiliza como referência de cálculo os fluxos de comércio e dados de energia. Seu cálculo é composto de três partes:

- (1) Análise do consumo de 50 recursos bióticos (carne, frutas, produtos lácteos, etc), onde se adicionam aos itens produzidos (no local em estudo), os itens importados e subtraem-se os itens exportados. Essa quantidade é chamada de ‘consumo aparente’, que será dividida pela produção média global deste recurso biótico (que tem unidade de massa por área – kg/ha.), gerando uma área de terra necessária para aquele recurso.
- (2) Análise do balanço de energia, considerando tanto a gerada localmente quanto a incorporada em produtos importados. Em ambos, transforma-se o consumo de energia de determinada fonte em área de terra.
- (3) Nesta última parte, as áreas geradas nas etapas (1) e (2) são classificadas em seis categorias de terra (cultivável, pasto, floresta, oceano, energia e construída). O valor de cada categoria é multiplicado por um Fator de Equivalência (*Equivalence Factor*), que classifica a produtividade de cada categoria de terra. Somam-se os seis valores e obtém-se a PE total da região em estudo. Pode-se comparar esta PE total com a biocapacidade existente na região, que é calculada pela soma ponderada da área de cada categoria de terra existente pelo Fator de Rendimento (*Yield Factor*). O Fator de Rendimento serve para igualar a produtividade local de cada categoria de terra com a média mundial.

A fórmula da PE, através da abordagem *Compound*, pode ser apresentada da seguinte maneira (VAN BELLEN, 2004):

$$PE_t = \sum_{i=1}^n \frac{Ct_i}{Pt_i \times Ip_i}$$

Sendo:

PE = Pegada Ecológica (ha./per capita);

Ct = Consumo total do produto (em kg);

Pt = População total (hab);

Ip = Índice de produtividade (kg/ha.);

t (subscrito) = total;

i (subscrito) = categoria i

Buscando-se uma maneira mais científica de se apresentar esta fórmula, obteve-se a seguinte equação genérica (WIEDMANN; LENZEN, 2007):

$$PE' = \sum_{\alpha} \frac{\varepsilon_{l(\alpha)}}{y_{\alpha}} \sum_j \chi_{\alpha j} \sum_k \chi_{jk} \sum_l \chi_{kl} \cdots \sum_{\Omega} \chi_{(\Omega-1)\Omega} \times c_{\Omega}$$

Onde:

- $PE'$  = Pegada Ecológica (gha. ou ha.) de uma categoria específica;
- $\varepsilon_{l(\alpha)}$  = Fator de equivalência para o tipo de terra;
- $y$  = Produtividade média global do produto (kg/gha);
- $\chi$  = Quantidade de produto (i-1) para produzir o produto (i) (kg/kg);
- $\alpha$  = produto primário;
- $j$  = produto secundário;
- $k$  = produto terciário;
- $l$  = produto quaternário;
- $\Omega$  = produto final;
- $c$  = Consumo do produto final.

A classificação de produtos em primário, secundário, terciário, quaternário e final é feita para distinguir os produtos gerados de um produto anterior. Para facilitar a compreensão desta classificação, Wiedmann e Lenzen (2007), utilizam o seguinte exemplo:

- Produto primário: Trigo;
- Produto secundário: Farinha de Trigo;
- Produto terciário: Pão;
- Produto final: Fatias de pão utilizados em uma refeição, num restaurante.

#### ➤ Abordagem Component:

Nesta abordagem os valores de PE para certas atividades são pré-calculados usando dados apropriados da região em consideração. O objeto de estudo (regiões, produtos, organizações, etc) será dividido em etapas, onde serão coletados dados específicos de cada uma. Utilizar-se-á novamente as categorias de terra propostas por Wackernagel e Rees (1996) em cada etapa, obtendo valores de PE específicos. Esses resultados serão somados, obtendo um resultado final de PE.

A principal diferença entre estas abordagens está na forma como os dados são obtidos. A abordagem *Compound* utiliza dados estatísticos de produção, importação, exportação e produtividade de diversas categorias de produtos. Já a abordagem *Component* utiliza dados de

fluxo de matéria e energia, ou seja, identifica produtos e serviços consumidos na área de estudo, calcula o consumo de recursos de cada componente (durante todo seu ciclo de vida), e então transforma e agrega estes itens em PE de uma certa unidade ou atividade. A escolha pela abordagem depende do escopo do estudo (FREY; HARRISON; BILLETT, 2006). Esta abordagem é a que mais se assemelha com a ACV.

Existem outras abordagens de cálculo da Pegada Ecológica sendo desenvolvidas, como a análise de entradas e saídas, ou *input-output analysis* (BICKNELL et al., 1998), além de propostas de algumas modificações na metodologia (CHEN; CHEN, 2007; LENZEN; MURRAY, 2001; LIU et al., 2008; NGUYEN; YAMAMOTO, 2007; ZHAO; LI; LI, 2005).

Observa-se pelos estudos já desenvolvidos que a abordagem *Compound* é mais utilizada para calcular a pegada ecológica de regiões (nações, cidades, etc). A abordagem *Component* possui maior flexibilidade, podendo ser utilizada para calcular a pegada ecológica tanto de regiões como de produtos.

As categorias de terra propostas inicialmente numa análise de PE são (CHAMBERS; SIMMONS; WACKERNAGEL, 2000; WACKERNAGEL; REES, 1996; WACKERNAGEL; YOUNT, 1998):

- Agricultura: plantações de frutas, vegetais e grãos;
- Pastagem: pasto para pecuária – carne e leite;
- Floresta: Madeira e outras funções (proteção da biodiversidade, controle de erosão, etc.);
- Água/oceano;
- Área construída: Prédio, casas, rodovias, etc.;
- Área para energia: Seqüestro de carbono (para combustíveis fósseis) ou produção de energia a partir de biomassa.

Essas categorias são utilizadas em diversos estudos, no entanto, elas podem variar de acordo com o escopo e os objetivos do estudo. Van Der Werf et. al. (2007), em um estudo de produção agrícola, escolheu os seguintes itens:

- Área de terra utilizada pela fazenda;

- Área de terra necessária para produzir os insumos (fertilizantes, pesticidas, ração) que não eram gerados na própria fazenda;
- Área de terra para produzir energia (não renovável), utilizada na fazenda e em todas as etapas de produção e transporte de produtos;
- Área de terra necessária para seqüestro de carbono das emissões de gases de efeito estufa emitidos na fazenda e em todas as etapas de produção e transporte de produtos.

Já num estudo de sustentabilidade do turismo da cidade de Florianópolis, utilizou-se as seguintes categorias de análise (ANDRADE, 2006):

- Consumo de gasolina automotiva;
- Geração de resíduos;
- Consumo de energia elétrica;
- Consumo de água;

### 2.3.3. Alguns exemplos de estudos

Frey, Harrison e Billett (2006) utilizaram a PE na avaliação de celulares, justificando a escolha desta metodologia pelo fato de que grande parte das avaliações ambientais era feita utilizando a ACV, focando principalmente em aspectos toxicológicos, de fim de vida e consumo de energia, ignorando outros aspectos de sustentabilidade. Para esta análise utilizou-se o método *Component*. Estabeleceram-se três casos (A, B e 0,4W), dividindo os sistemas em quatro etapas: (1) Produção de matérias-primas; (2) Manufatura do aparelho telefônico e suas partes; (3) Uso; (4) Fim de vida. Escolheram-se três categorias de terra: (a) Área para seqüestro de carbono; (b) Área de floresta (para produção de madeira); (c) Área construída (subdividida em infra-estrutura, prédios e solo degradado por atividade de mineração). A partir deste estudo, conclui-se que o caso 0,4W era o mais ambientalmente correto, por apresentar menor PE (62,60  $\text{gm}^2$ ), seguido do caso B (75,71  $\text{gm}^2$ ), e por último o caso A (84,75  $\text{gm}^2$ ). Avaliou-se também, a partir da PE, diferentes cenários para o melhor caso (0,4W), modificando o tempo de vida do produto e as taxas de melhorias nas eficiências. Concluiu-se que o melhor cenário seria manter um celular por pelo menos sete anos, com uma taxa de melhoria de eficiência anual de 20% ou manter um celular por 10 anos, se a taxa de melhoria for de 10%.

A PE também foi usada para avaliar diferentes sistemas produtivos de vinho (convencional e orgânico), da Itália. Neste estudo foi utilizado o método *Component*. O escopo do sistema era desde o cultivo das uvas até a distribuição das garrafas de vinho. Dividiu-se o sistema em 4 fases: (1) Agrícola (preparação e plantio do vinhedo, produção de uva, tratamentos e colheita); (2) Adega (esmagamento, fermentação e estabilização); (3) Empacotamento (engarrafamento, rolha e rotulagem); (4) Distribuição. As categorias consideradas foram: (a) Cultivo (área para os vinhedos); (b) Pasto; (c) Floresta (para produção de madeira); (d) Energia (área para seqüestro de carbono); (e) Construída (área ocupada pelos prédios da fazenda, estradas, adegas, galpões para máquinas e equipamentos, etc); (f) Água (para consumo de peixe). O sistema orgânico obteve o melhor resultado, com 1,12 gha por tonelada de vinho, contra 2,19 gha do sistema convencional. A fase mais impactante foi a agrícola, com 67% dos impactos para o sistema orgânico e 76% para o sistema convencional. As categorias mais relevantes foram a (a) e a (d), com 32,8% e 52,5%, respectivamente, para o sistema orgânico e 32,7% e 48,4%, respectivamente, para o sistema convencional. O sistema convencional teve uma maior PE basicamente devido ao processo de seleção mais restritivo das uvas, ao uso de fertilizantes e pesticidas, ao uso de garrafas de vidro (o sistema orgânico utiliza garrafas mais leves que o convencional devido a imposições européias para produções orgânicas) e a produção ser mais mecanizada, com maior consumo de energia (NICCOLUCCI et al., 2008).

#### 2.3.4. Críticas

A PE foi desenvolvida com o intuito de ser utilizada como uma ferramenta para planejamento ambiental, porém, ao utilizar dados de produtividade média mundial, omite-se muitos detalhes regionais. Além disso, a metodologia gerencia mal as relações comerciais, pois ignora as transações intermediárias entre indústrias (LENZEN; MURRAY, 2001).

Van Den Bergh e Verbruggen (1999) apontam diversos pontos negativos existentes na metodologia da PE:

1. Agregação, ponderação e relevância política: A forma de agregação e ponderação utiliza fatores de equivalência que não levam em consideração alterações temporais e espaciais, algumas categorias apresentam valores idênticos sendo que seus impactos

são completamente diferentes e a metodologia não pode ser considerada como de planejamento ambiental por não apresentar objetivos, diretrizes e instrumentos;

2. Uso de terra hipotético e insustentável: Para comunicação dos resultados, a sociedade dificilmente entenderá que o uso da terra é somente hipotético e não real e a PE não distingue usos de terra sustentáveis de insustentáveis;
3. Cenário de uso de energia sustentável: O procedimento de cálculo utilizado para associar os impactos ambientais do uso de energia é demasiadamente simplista, pois os reduz à área de terra de reflorestamento para seqüestro do CO<sub>2</sub> emitido;
4. Espaço e regiões: Os cálculos das regiões deveriam levar em consideração as divisões ecológicas e não políticas. O indicador em ‘hectares *per capita*’ não informa muito sobre a distribuição espacial dos impactos nem de suas causas e, além disso, a comparação entre países de grande extensão territorial (EUA, Canadá, Austrália, etc), com países europeus altamente povoados não é compatível;
5. Comércio entre países e regiões: Não é clara a relação do comércio entre os países com a sustentabilidade regional.

A PE apresenta como pontos positivos: (1) A tentativa de medir a transformação antrópica do solo; (2) Considerar a complementaridade entre o homem e o meio ambiente; (3) A consistência com as leis da termodinâmica; (4) Levar em consideração aspectos sociais, ao considerar limites os ecológicos da Terra; (5) A capacidade de demonstração dos resultados (pela clareza, simplicidade no conceito e apelo intuitivo); (6) A separação em categorias de terra, dando a oportunidade de identificar *hots-pots*. Porém, a metodologia apresenta também alguns pontos negativos, como: (1) Eliminação de alguns critérios ambientais importantes e a não consideração de terras não-produtivas; (2) A metodologia para calcular os impactos energéticos refere-se somente ao CO<sub>2</sub> emitido, excluindo outros GEE; (3) Não diferencia os usos sustentáveis dos não sustentáveis da terra (PENELA; VILLASANTE, 2008).

A unidade das equações de PE é em hectares globais (gha.), e elas utilizando fatores de produtividade e equivalência globais, para que se possa comparar PE de diferentes países. Porém, enquanto a área de terra necessária para produtos primários é avaliada desta maneira, os produtos secundários (e demais), são avaliados com fatores de produtividade e equivalência regionais. Isso resulta numa grande inconsistência no tratamento dos produtos primários e seus subseqüentes. Além disso, a PE em unidades de gha somente irá refletir ganhos em eficiência em produtos secundários (e demais), e não nos primários

(WIEDMANN; LENZEN, 2007). Os mesmos autores relatam que, para se evitar esta inconsistência, quando a PE for expressa em gha, devem-se ter todos fatores de produtividade em médias globais, pois somente assim a PE poderia ser comparável entre países, e tratada igualmente pelo mundo, independente dos recursos, do clima e da tecnologia de um determinado país. Por outro lado, quando expressa em hectares locais, a PE reflete as alterações (melhorias) em eficiência produtiva. Com este impasse, os autores recomendam que seja usado hectares locais (ha.), ao invés de hectares globais (gha.) pois, desta maneira, os produtos primários serão incluídos nas decisões a serem tomadas na busca de melhorias ambientais.

Frey, Harrison e Billett (2006) comentam que apesar dos resultados obtidos em seu estudo serem muito abaixo da área produtiva da Terra, a metodologia apresentou sensibilidade na detecção de diferenças entre os casos propostos. No entanto, os autores citam que a PE apresenta como limitação a necessidade de se ter escopos idênticos entre os produtos (assim como em estudos de ACV), e a exclusão da toxicidade como critério ambiental.

Além de ser utilizada como uma metodologia de avaliação ambiental (e sustentabilidade ambiental) de nações, regiões, organizações, serviços, produtos e estilos de vida, a Pegada Ecológica pode também ser utilizada como um método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), dentro de um estudo de ACV. Huijbregts (2008) realizou um estudo analisando a Pegada Ecológica como método de AICV. Para isso, utilizou-se a base de dados Ecoinvent v1.2, com informações de ciclo de vida de 2630 produtos (bens e serviços), dividindo esses produtos em 19 grupos. Concluiu-se que a PE fornece um retrato mais completo da pressão ambiental quando comparado ao método *Cumulative Energy Demand*. Ao se comparar com o método Eco-Indicator 99, observou-se que a maioria dos produtos apresentou resultados compatíveis, com uma relação entorno de 30m<sup>2</sup>.ano/ecopontos. No entanto, o estudo demonstrou que o uso da PE é limitado para produtos que tenham emissão de particulados, alto consumo de minerais e processos específicos de metais.

## 2.4. PEGADA DE CARBONO

### 2.4.1. Introdução

Pesquisas demonstram elevações nas temperaturas médias do planeta nos últimos cem anos, especialmente nas latitudes mais altas do hemisfério norte. Observa-se também um aumento no nível médio dos oceanos, diminuição da cobertura de neve nas calotas polares, além de outras alterações no clima, em nível global. Essas alterações ocorreram devido ao aumento na emissão de gases de efeito estufa (GEE), provocado principalmente pelas atividades industriais. Se as emissões de GEE do ano 2000 se mantiverem constante, é esperado para as próximas duas décadas um aumento de aproximadamente 0,4°C na temperatura média da Terra e após isso um aumento progressivo de 0,1°C por década. Essas alterações na temperatura provocarão diversos impactos ambientais no planeta (IPCC, 2007).

O IPCC desenvolveu um modelo que normaliza as emissões de GEE em uma unidade única, o CO<sub>2</sub>eq. Para esse modelo, foi utilizado um fator, chamado Potencial de Aquecimento Global (PAG), ou *Global Warming Potential* (GWP), que descreve o impacto que um gás provoca na atmosfera terrestre (troposfera) ao alterar a quantidade de calor armazenado neste sistema. Sua unidade é em Watts por metro quadrado (W/m<sup>2</sup>). O Gás Carbônico (CO<sub>2</sub>) possui fator igual a 1 e todos os outros gases comparam o seu PAG em relação a este gás, obtendo valores em CO<sub>2</sub>eq (IPCC, 2007; RANGANATHAN et al., 2004).

O principal manual utilizado por organizações para controlar suas emissões de GEE, o protocolo GHG, divide as emissões em três escopos: 1, 2 e 3. O escopo 1, chamado *Emissões diretas de GEE*, é relativo às emissões provindas de fontes que pertencem e que sejam controladas pela organização. O escopo 2, chamado *Emissões indiretas de GEE de eletricidade*, contabiliza os GEE emitidos na produção da energia que tenha sido comprada pela organização. O escopo 3, chamado de *Outras emissões indiretas de GEE*, relata todas as outras emissões possíveis, sendo que ele é opcional, portanto, podendo ou não ser relatado. Nele seriam incluídas as emissões de GEE provindos da extração e/ou produção da matéria-prima, transportes e usos dos produtos e/ou serviços (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT; WORLD RESOURCE INSTITUTE, 2004).



Recentemente, devido a questões ligadas aos impactos do aquecimento global, diversos *stakeholders*<sup>3</sup> têm pesquisado meios de se medir GEE associados a produtos (bens e serviços). Várias metodologias de análise de Pegada de Carbono estão em discussão, basicamente buscando-se simplificações para a ACV, para que possa ser possível avaliar um grande número de produtos em um curto espaço de tempo. Visto a importância de se simplificar metodologias, é válido ressaltar que sua utilização pode levar a decisões errôneas, especialmente em avaliações com somente um indicador (SETAC Europe LCA Steering Committee, 2008).

#### **2.4.2. A metodologia**

O conceito de Pegada de Carbono (ou Pegada Carbônica) foi originado da noção da Pegada Ecológica, criada por Rees e Wackernagel na década de 1990. Uma definição ampla seria que a Pegada de Carbono é igual às quantidades de GEE emitidos direta ou indiretamente por uma pessoa, organização ou produto (JOHNSON, 2008).

O termo ‘Pegada de Carbono’ vem sendo altamente utilizado por diferentes organizações, empresas privadas e pela mídia e em menor número por entidades de pesquisa. Por esse motivo, há divergências na forma de se utilizar este conceito, resultando em muitas definições e sugestões de como ela deveria ser calculada (WEIDEMA et al., 2008; WIEDMANN; MINX, 2007). Há discordâncias quanto aos gases que devem ser medidos e quanto ao escopo do estudo. Alguns autores restringem a Pegada de Carbono apenas à quantidade de carbono emitido, já outros abrangem todos os gases de efeito estufa, inclusive os que não possuem carbono em sua estrutura molecular (ex.: N<sub>2</sub>O). Alguns autores concordam que devem ser incluídas as emissões durante todo o ciclo de vida do produto, porém outros acreditam que basta restringir às emissões da etapa de produção. Há ainda estudos que alocam a Pegada de Carbono como a fração da Pegada Ecológica referente ao consumo de combustíveis fósseis e que, em termos físicos, seria a demanda de área necessária para realizar o sequestro do carbono emitido (WIEDMANN; MINX, 2007).

A Pegada de Carbono não é algo novo, uma vez que já era utilizada anteriormente, porém, com um nome diferente. Nada mais é que a realização de uma ACV utilizando o modelo do

---

<sup>3</sup> *stakeholders* são todos os envolvidos numa cadeia de produtos, desde o fornecedor da matéria-prima até o consumidor final.

IPCC como método de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida. No entanto, ao se levar em consideração somente um estudo de Pegada de Carbono, poderá se tomar decisões errôneas como, por exemplo, desativar estações de tratamento de esgotos e abandonar as reciclagens de papel, já que seus balanços de carbono são positivos, ou seja, estas atividades produzem mais carbono que a não realização das mesmas. Apesar disso, o termo Pegada de Carbono está sendo muito divulgado no mundo (FINKBEINER, 2009).

O Instituto de Padronização Britânico (BSI), juntamente com o Departamento Britânico de Meio Ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais (DEFRA) e a organização *Carbon Trust*, publicou em 2008 um guia para padronizar análises de Pegada de Carbono de produtos (bens e serviços) durante todo seu ciclo de vida. Como base para isso foi usada às normas ISO 14040 e ISO 14044. O guia apresenta uma metodologia muito parecida com as referidas normas, tendo as seguintes etapas (BSI; CARBON TRUST; DEFRA, 2008a; b)

1. Início à análise: Na primeira parte será necessário estabelecer os objetivos da análise, escolher o produto a ser analisado e sua unidade funcional e estabelecer relações com fornecedores;
2. Cálculo da Pegada de Carbono: Esta etapa é subdividida em cinco passos.
  - Construção de um fluxograma: É importante definir se a análise será a *Business-to-Consumer* (B2C), ou seja, do produtor ao consumidor final ou se é *Business-to-Business* (B2B), ou seja, do produtor ao um consumidor que irá produzir outro produto;
  - Estabelecer o Escopo da análise;
  - Coleta de dados: Os dados poderão ser primários (medições diretas feitas internamente ou por outra pessoa envolvida na cadeia do ciclo de vida do produto) ou secundários (medições externas que não foram feitas especificamente para o produto em análise)
  - Cálculo da Pegada de Carbono: Através de balanço de massa, onde serão levantadas as entradas e saídas de gases de efeito estufa nas etapas do ciclo de vida do produto, e do fator de emissão (CO<sub>2</sub>eq), sendo que neste documento, recomenda-se a utilização do estabelecido pelo IPCC no ano de 2007, para um horizonte de 100 anos. Nesta etapa também são abordados aspectos ligados ao armazenamento de carbono em produtos, amostragem, reciclagem, alocação, entre outros.

- Análise de Incertezas: Esta etapa é opcional e trata da medição e minimização das incertezas dos dados obtidos.
3. Etapas posteriores: Para finalizar o estudo, o guia recomenda mais três etapas:
- Validação dos resultados: A partir de auditorias, sendo a mais recomendada a de terceira parte (realizada por organizações independentes que não tenham interesse nos resultados da auditoria);
  - Redução de emissões: Promover estratégias para reduções das emissões de GEE ao longo do ciclo de vida do produto;
  - Comunicação da Pegada de Carbono.

Esse guia, chamado de PAS 2050, sigla para *Publicly Available Specification* (que significa Especificação Disponível Publicamente), forneceu o primeiro método normalizado e internacional para se avaliar as emissões de GEE do ciclo de vida de produtos. Ao se construir esta norma, foi possível clarificar e simplificar alguns itens da série de normas de ACV (14040), (SINDEN, 2009). A *International Standardization Organization* (ISO) já possui um grupo de trabalho para desenvolver uma norma neste tema (será chamada de ISO 14067), que será dividida em duas partes: Quantificação e Comunicação. Além disso, existem muitas outras atitudes em prol desta metodologia, tentando subsidiar a crescente demanda de mercado por informações relativas à Mudanças Climáticas (FINKBEINER, 2009).

Paralelamente ao PAS 2050, a organização *Carbon Trust* elaborou diversos relatórios que complementam esta norma. No relatório CTC 745, são passadas diretrizes quanto à forma de publicação dos resultados da análise de Pegada de Carbono. Os princípios deste relatório são (CARBON TRUST, 2008a; b):

- Nas publicações contendo informações referentes a melhorias nos produtos deverá haver também os valores absolutos de emissões deste produto. Desta maneira, serão reconhecidas melhorias obtidas e também os melhores dentro de uma determinada classe de produtos.
- Além dos valores absolutos do produto, a publicação deverá conter também uma explicação de como as emissões foram avaliadas, para facilitar comparações.
- As publicações diretas aos consumidores deverão ser simples, no entanto, deverá haver uma outra forma de publicação mais detalhada e transparente.

A organização *Carbon Trust* aponta algumas vantagens obtidas por empresas pioneiras que realizaram Pegada de Carbono (CARBON TRUST, 2008b):

- Diagnósticos mais precisos das fontes de emissão, podendo elaborar estratégias de redução mais eficientes;
- Identificação de pontos de alto impacto ambiental e baixo custo ao longo da cadeia do produto;
- Criação de relações mais fortes e colaborativas com os fornecedores;
- Desenvolvimento de melhores práticas gerenciais.

Segundo Weidema et al. (2008), a Pegada de Carbono tem um apelo muito mais amplo que a ACV, pois seu conceito é popular e de fácil entendimento e, além disso, a metodologia foi difundida fora do meio acadêmico. Os autores relatam que para alguns pesquisadores, focar somente no Aquecimento Global torna a abordagem crua, podendo levar a uma imagem enganosa em alguns casos. Apesar disso, afirmam que a força da Pegada de Carbono está em focar no que é importante (emissões de carbono), enquanto que a ACV foca em criar uma imagem holística dos problemas ambientais, ou seja, evitar resolver um problema ambiental criando outro. Ainda, relatam que a Pegada de Carbono, mais que qualquer outra metodologia ou conceito, foi capaz de chamar a atenção do público e por isso tem o potencial de aumentar a preocupação ambiental dos consumidores em relação aos impactos ambientais dos produtos. Dessa maneira, pode-se facilitar a difusão do *life-cycle thinking* e da ACV.

Por outro lado, Johnson (2008) ao realizar um estudo de Pegada de Carbono de empilhadeiras na Inglaterra encontrou dificuldades quanto à definição da mesma. O objetivo era comparar empilhadeiras movidas à eletricidade com as movidas a Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). O autor observou que os resultados obtidos poderiam ser interpretados de seis maneiras diferentes. Em dois deles, a empilhadeira movida a GLP teve menor Pegada de Carbono. Em outros dois, quem teve melhor resultado foi a empilhadeira movida à eletricidade. Nos dois restantes, houve um empate. Por esse motivo, o autor concluiu que para essa metodologia ser usada numa avaliação ambiental, sua definição deve ser sensível e transparente.

Schmidt (2009), ao escrever um artigo sobre a Pegada de Carbono e seu uso como selo ambiental, acredita que o uso desta metodologia que usa um indicador único fará com que o caminho para a produção e consumo sustentável sejam perdidos. Assim, ele acredita que o

uso desta metodologia como selo ambiental servirá somente para aumentar o conhecimento quanto à quantidade e onde ocorrem às emissões de GEE, com vistas à diminuição das mesmas e não como critério ambiental único.

## 2.5. SISTEMA DE RAÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE

### 2.5.1. Ração

Na produção de frangos de corte, a ração fornecida ocupa um papel muito importante, pois é ela que irá fornecer os nutrientes necessários para o crescimento adequado. A fabricação de ração depende de algumas condições técnicas como: Exigência de nutrientes do animal; idade em que se deseja alcançar o abate; separação dos lotes por sexo; disponibilidade, qualidade e preços dos ingredientes; entre outros. Os ingredientes da ração devem ser de boa qualidade e devem atender os padrões mínimos estabelecidos pelo Ministério da Agricultura. A quantidade de cada ingrediente varia de acordo com a idade do frango, como apresentado na Tabela 1. Sua fórmula deverá ser recalculada caso seja utilizados ingredientes alternativos (trigo, sorgo, etc) (BELLAYER, 2003).

Tabela 1: Composição de ração para frangos de corte (Fonte: Bellaver (2003))

Fase	Pré-inicial	Inicial	Crescimento	Final/Retirada
Ingredientes	(1 a 7 dias)	(8 a 21 dias)	(22 a 35 ou 22 a 42 dias)	(35 a 42 ou 42 a 49 dias)
Milho	55,58	54,70	57,82	57,93
Farelo de soja	37,10	36,62	32,90	32,88
Óleo de soja	2,75	4,35	5,39	5,37
Fosfato bicálcico	1,98	1,83	1,74	1,74
Calcáreo	1,33	1,29	1,11	1,11
Sal	0,51	0,51	0,46	0,46
L-Lisina HCl	0,16	0,15	0,12	0,12
DL-Metionina	0,23	0,22	0,18	0,18
Premix mineral	0,05	0,05	0,05	0,05
Premix vitamínico	0,13	0,12	0,10	0,10
Clor. Colina (70%)	0,11	0,09	0,06	0,06
Avilamicina	0,01	0,01	0,01	-
Monensina	0,06	0,06	0,06	-
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

### **2.5.2. Cultivo de milho**

Os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, China e Brasil, que, em 2005, produziram: 280,2; 131,1; e 35,9 milhões de toneladas, respectivamente. As principais utilizações do milho no mundo são as atividades de criação de aves e suínos. A produção de milho no Brasil é caracterizada pela divisão em duas épocas de plantio: (1) de verão, ou primeira safra; (2) Safrinha, ou segunda safra (DUARTE et al., 2008).

A baixa produtividade média de milho no Brasil (3.175 kg por hectare) não reflete o bom nível tecnológico já alcançado por boa parte dos produtores voltados para lavouras comerciais, uma vez que as médias são obtidas nas mais diferentes regiões, em lavouras com diferentes sistemas de cultivos e finalidades (DUARTE et al., 2008).

Há uma grande diversidade nas condições de cultivo do milho no Brasil. Observa-se desde a agricultura tipicamente de subsistência, sem utilização de insumos modernos (produção voltada para consumo na propriedade e eventual excedente comercializado) até lavouras que utilizam o mais alto nível tecnológico, alcançando produtividades equivalentes às obtidas em países de agricultura mais avançada (DUARTE et al., 2008).

O milho é cultivado em praticamente todo o território, sendo que 90 % da produção concentraram-se nas regiões Sul (43 % da produção), Sudeste (25 % da produção) e Centro - Oeste (22% da produção). A participação dessas regiões em área plantada e produção vem se alterando ao longo dos anos (DUARTE et al., 2008).

### **2.5.3. Cultivo de soja**

A Soja é o 4º grão mais produzido no mundo, perdendo apenas para o milho, trigo e arroz. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, com 26% da produção mundial. Neste país, o grão é cultivado em 13 estados mais o Distrito Federal. Na safra 2003/04, Mato Grosso foi o estado com maior produção, seguido do Paraná e Rio Grande do Sul. A produtividade média no quinquênio de 1993/03 apresenta variação regional, sendo o Mato Grosso o estado com maior valor, (2,971 ton/ha.) e o Rio Grande do Sul com o menor valor (1,973 ton/ha.) (REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (34:2006:Pelotas), 2006).

#### 2.5.4. Manejo de solos

O manejo do solo consiste num conjunto de operações realizadas com objetivos de propiciar condições favoráveis à semeadura, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas, sendo que a primeira, e talvez mais importante operação a ser realizada, é o preparo do solo (REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (34:2006:Pelotas), 2006). Essa etapa, mediante uso excessivo de arações e/ou gradagens superficiais e continuamente na mesma profundidade, provoca desestruturação da camada arável e formação de duas camadas distintas (superficial pulverizada e sub-superficial compactada). Essas transformações causam diminuição da taxa de infiltração de água no solo e prejudicam o desenvolvimento radicular das plantas, resultando em perdas de solo e de nutrientes e em redução do potencial produtivo da lavoura, respectivamente. Esses aspectos contribuem no processo de erosão e de degradação dos solos (REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (34:2006:Pelotas), 2006). O manejo adequado do solo é essencial para a obtenção da produtividade de grãos que permita, ao mesmo tempo, um rendimento econômico satisfatório e a manutenção do potencial produtivo do solo. As operações de manejo de solos visam adequar o ambiente para o plantio além de ajudar no controle de plantas invasoras e no controle de erosão (CRUZ et al., 2008).

##### Sistema de preparo convencional do solo

O preparo inicial do solo tem por objetivo básico fornecer condições ótimas para a germinação, a emergência e o estabelecimento das plântulas. Basicamente ele é realizado em duas etapas (ALVARENGA; CRUZ; VIANA, 2008):

- (1) Preparo primário: Consiste na operação mais grosseira e visa afrouxar o solo, sendo utilizada também para incorporação de corretivos, de fertilizantes, de resíduos vegetais e de plantas daninhas, ou para a descompactação superficial (ALVARENGA; CRUZ; VIANA, 2008). Ela pode ser realizada por meio de aração, escarificação ou gradagem pesada. A escarificação substitui com vantagem a aração e a gradagem pesada, desde que se reduza o número de gradagens niveladoras (no preparo secundário) (EMBRAPA SOJA, 2008).
- (3) Preparo secundário: Consiste na operação de destorroamento e de nivelamento da camada arada de solo, por meio de gradagens do terreno (ALVARENGA; CRUZ; VIANA, 2008).

Deve ser feito com o mínimo de operações e próximo da época de semeadura (EMBRAPA SOJA, 2008).

### Sistema de Plantio Direto

O plantio direto é um processo de semeadura em solo não revolvido, onde as sementes são colocadas em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficiente para a adequada cobertura e contato das sementes com a terra. Nesse sistema não é necessário realizar as etapas de aração e gradagem, portanto, há a eliminação (ou redução) das operações de preparo do solo. Por outro lado, devem-se usar herbicidas para o controle de plantas daninhas e deve-se promover a formação e manutenção da cobertura morta (CRUZ et al., 2008).

Para o sucesso da implantação do sistema de plantio direto, é necessário:

- Qualificação do agricultor;
- Gerenciamento e treinamento de mão-de-obra;
- Boa drenagem de solos úmidos com lençol freático elevado;
- Eliminação de compactação ou de camadas adensadas;
- Nivelamento da superfície do terreno;
- Correção da acidez do solo;
- Nivelamento da fertilidade na faixa de media a alta;
- Cobertura do solo;
- Nenhuma queima de restos culturais;
- Uso do picador e do distribuidor de palhas nas colhedoras;
- Controle de plantas daninhas;
- Eliminação de plantas daninhas perenes;
- Não haver alta infestação de plantas daninhas muito agressivas.

A palhada é bastante importante no sistema de plantio direto, pois ela:

- Reduz o impacto das gotas de chuva;
- Dificulta o escoamento superficial;
- Protege a superfície do solo da ação direta dos raios solares;
- Reduz a amplitude hídrica e térmica;
- Aumenta o teor de matéria orgânica no perfil do solo;



- Ajuda no controle de plantas daninhas.

Grande parte do sucesso do Sistema de Plantio Direto reside no fato de que a palha deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo, somada aos resíduos das culturas comerciais, cria um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal, contribuindo para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção das características e propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, de tal modo que a sua qualidade seja melhorada.

O sistema plantio direto constitui, atualmente, a modalidade de agricultura conservacionista de maior adoção na região sul do país (REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (34:2006:Pelotas), 2006).

#### **2.5.5. Pós-colheita**

A etapa de pós-colheita apresenta grande consumo de fontes primárias de energia e, por esse motivo, é considerada de grande potencial de impacto ambiental. Ela consiste em quatro etapas (MARQUES, 2006):

- (1) Recepção: Etapa onde são recebidos os grãos, que passam por um processo de amostragem e classificação (calagem, determinação da umidade e determinação de avariados);
- (2) Pré-limpeza e Limpeza: Os grãos recebidos das lavouras apresentam grande quantidade de outros materiais, que devem ser removidos. Esta etapa é realizada em duas etapas, uma antes da secagem (pré-limpeza) e outra após a secagem (limpeza);
- (3) Secagem: Após a colheita, os grãos apresentam certa quantidade de umidade. Eles devem ser secos para que não ocorram fermentações e/ou germinações, uma vez que os transportes e armazenamentos podem levar longos períodos de tempo. O secador mais usado no Paraná é chamado de tipo ‘cavalete’ e possui o interior formado por uma colméia de dutos horizontais perfurados, para passagem de ar quente;

- (4) Armazenamento: O armazenamento de grãos ensacados pode ser realizado em armazéns convencionais, estruturados ou infláveis. Os grãos a granel são armazenados em silos (verticais ou horizontais), baterias de silos, armazéns graneleiros, armazéns granelizados.

#### **2.5.6. Produção de ração**

*“Alguns fatores levam a necessidade de processamento de ingredientes e de rações, os quais podem melhorar a digestibilidade das rações. Entre os processos mais utilizados, destacam-se: a peletização e extrusão, a separação de cascas de ingredientes, a detoxificação (tratamento térmico), a preservação (secagem de grãos) e uniformidade de partículas (moagem e peletização). Em frangos a moagem é importante para homogeneidade da mistura e, entre outros aspectos, também o correto tamanho de partículas promove a economia de energia da trituração dos cereais. Tamanhos de partículas de milho entre 0,75 e 1,00 mm ficam na faixa recomendada, sendo esse valor facilmente mensurado através do granulômetro. A mistura dos ingredientes triturados é essencial no processo e os equipamentos existentes apresentam tempo variável de mistura, situando-se entre 5 e 15 minutos na dependência principalmente do tipo (vertical ou horizontais) e das roscas helicoides. A mistura adequada dos ingredientes da ração é passo fundamental e precisa ser avaliada periodicamente. Existem publicações da Embrapa que indicam procedimentos sobre testes da qualidade de mistura. A peletização embora muito desejável no processamento, pois pode proporcionar melhoria da eficiência alimentar maior que 5%, dificilmente será realizada por produtores devido ao alto investimento em equipamentos, a menos que esses se associem para a fabricação de rações.” (BELLAYER, 2003)*

#### **2.5.7. Transporte**

A principal forma de transporte de grãos no Brasil é a rodoviária, sendo que os modais considerados mais eficientes para esta atividade são as ferrovias e hidrovias, devido aos grandes volumes, longas distâncias e baixo custo. Sabe-se que as principais perdas de grãos ocorrem na etapa de transporte, em função de más estradas, acondicionamento inadequado nas carretas e armazenamento no limite da capacidade. Na safra 04/05, as perdas no transporte chegaram a 8,8% (MARQUES, 2006).

### 3. METODOLOGIA

O presente estudo trata de uma comparação entre quatro métodos de AICV (Eco-indicator 99, CML, Pegada Ecológica e Pegada de Carbono). Primeiramente fez-se uma comparação qualitativa entre os métodos, onde se buscou avaliar suas principais características a partir de determinados critérios. Posteriormente fez-se uma comparação quantitativa, avaliando os resultados obtidos na aplicação dos quatro métodos em um estudo de caso de sistemas de produção de ração de frangos de corte. A partir destas comparações (qualitativa e quantitativa) se buscou conhecer as vantagens e desvantagens da utilização de cada um dos métodos.

#### 3.1. AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Foi feita uma avaliação qualitativa dos quatro métodos de AICV buscando conhecer inicialmente as principais características de cada um. Para isso, foram usados os seguintes critérios:

- Classes dos métodos: *Endpoint* ou *Midpoint*. Para isso viu-se se os métodos chegavam até categorias de dano (nesse caso seriam considerados *Endpoint*) ou se paravam nas categorias de iniciais de causa-efeito (nesse caso seriam considerados *Midpoint*).
- Classificação e Caracterização: Quais aspectos ambientais e que substâncias são avaliadas para as etapas de classificação e caracterização;
- Normalização: Existência de etapas de normalização;
- Ponderação: Existência de etapas de ponderação;
- Categorias utilizadas;
- Unidades utilizadas;

A escolha destes critérios ambientais foi baseada em leituras de outros estudos de comparação de métodos de AICV (BRENT; HIETKAMP, 2003; DREYER; NIEMANN; HAUSCHILD, 2003).

Para realizar esta avaliação usaram-se as seguintes referências (Quadro 2):

<b>Método de AICV</b>	<b>Referência utilizada</b>
Eco-indicator 99	(GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2001)
CML (modificado)	(GUINÉE, 2002)
Pegada Ecológica	(CHAMBERS; SIMMONS; WACKERNAGEL, 2000); (WACKERNAGEL; REES, 1996)
Pegada de Carbono	(BSI; CARBON TRUST; DEFRA, 2008a; b)

Quadro 2: Referências utilizadas para avaliação qualitativa dos métodos

Métodos *endpoint* têm a vantagem de serem direcionados ao dano, dando mais relevância na tomada de decisão, porém possuem alta subjetividade. Já métodos *midpoint* possuem menor relevância no suporte à tomada de decisão, mas têm menor subjetividade (BARE et al., 2000). A classificação e a caracterização estão ligadas às categorias de impacto ambiental existentes, já que estas revelam sobre quais aspectos ambientais deverá se dar a coleta de dados. As vantagens de se ter etapas de normalização são a comparação dos resultados obtidos com referências e a possibilidade de se criar uma agregação futura, mas por outro lado esta etapa aumenta a subjetividade no estudo. Uma vantagem de se ter etapas de ponderação é dar maior importância aos impactos ambientais mais relevantes (com embasamento teórico de especialistas), mas por outro lado aumenta-se também a subjetividade do estudo. A característica mais relevante num método de AICV são suas categorias de impacto ambiental. Alguns autores defendem que os métodos devem ter uma visão holística, para que não ocorra transferência de impactos, já outros defendem a idéia que se devam considerar somente os impactos ambientais mais relevantes. (FINKBEINER, 2009; FREY; HARRISON; BILLETT, 2006; HUIJBREGTS et al., 2008; SCHMIDT, 2009; WEIDEMA et al., 2008). Com relação às unidades, é importante que elas sejam de fácil compreensão ao público-alvo, para assim facilitar a compreensão dos resultados.

### 3.2. ESTUDO DE CASO

Foi utilizado um estudo de caso de ração para frangos de corte com a finalidade de aplicar os métodos e, assim, poder realizar uma avaliação mais aprofundada deles, a partir dos resultados obtidos em cada um. Foram utilizadas as normas NBR ISO 14.040 e 14.044 como base metodológica para realizar a ACV.

Portanto, foi realizada uma ACV atribucional, do berço ao portão, de ração de frangos de corte. A unidade funcional estabelecida foi o fornecimento de ração, com 21% de proteína bruta e 3.100 kcal/kg de energia metabolizável, suficiente para nutrir 216.788 frangos de corte de granja, da região sul do Brasil. Essa unidade funcional gera um fluxo de referência de uma tonelada de ração (considerou-se uma conversão alimentar de 1,86 kg de ração pra cada 1,00 kg de frango e o peso médio do frango de 2,48 kg).

Considerou-se a ACV somente até o portão da fábrica de ração devido a essa dissertação utilizar, para o estudo de caso, uma parte dos dados de um projeto maior, que compara sistemas de produção de frangos de corte. Pelo mesmo motivo, optou-se por Chapecó (SC) como a cidade onde estará localizada a fábrica de ração, já que neste município há indústrias parceiras daquele projeto.

### **3.2.1. Cenários**

O sistema de ração de frangos de corte é composto por sete etapas:

- a) Cultivo de milho;
- b) Cultivo de soja;
- c) Produção dos demais insumos;
- d) Pós-colheita: Etapa onde são realizados a secagem e o armazenamento dos grãos (milho e soja);
- e) Processamento da soja: Etapa onde o grão de soja seco é processado, produzindo farelo e óleo de soja;
- f) Transportes;
- g) Produção da ração: Etapa onde há a composição dos ingredientes da ração.

Considerou-se que a fábrica de ração fosse localizada na cidade de Chapecó (SC). Em seguida criaram-se quatro cenários de avaliação ambiental:

- (1) Ração CW – CW: Ração composta de diversos ingredientes, com milho e soja proveniente da região Centro-oeste;
- (2) Ração CW – SO: Ração composta de diversos ingredientes, com milho proveniente da região Centro-oeste e soja proveniente da região Sul;
- (3) Ração SO – CW: Ração composta de diversos ingredientes, com milho proveniente da região Sul e soja proveniente da região Centro-oeste;

- (4) Ração SO – SO: Ração composta de diversos ingredientes, com milho e soja proveniente da região Sul.

A escolha destes cenários foi feita para que se pudessem demonstrar as características ambientais existentes nos grãos produzidos em diferentes regiões do Brasil.

### **3.2.2. Especificações do cultivo de grãos**

Com relação à origem dos grãos, a partir de um sistema computacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) chamado Sistema Sidra (localizado no site [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br)), levantaram-se as principais cidades produtoras de milho e soja das regiões sul e centro-oeste do Brasil. Para a soja, as cidades exportadoras escolhidas foram Sorriso (MT), por ser a maior produtora deste grão na região centro-oeste em 2007, e a cidade de Tupanciretã (RS), por ser a maior produtora deste grão na região sul no mesmo ano. Para o milho, as cidades exportadoras escolhidas foram Chapadão do Céu (GO), por ser a segunda maior produtora deste grão na região centro-oeste em 2007 (não se optou pela maior produtora, Sorriso, para não repetir a cidade) e a cidade de Castro (PR), por ser a maior produtora de milho na região sul do Brasil no mesmo ano.

O escopo do sistema de grãos inclui o preparo do solo, a fertilização, o plantio de sementes, a colheita e o transporte até a etapa de secagem. Com relação aos pesticidas, somente foi considerado no estudo os impactos da produção destes, e não da aplicação. Isso porque se verificou que os modelos de caracterização dos impactos causados pelos pesticidas possuem muitas incertezas, tanto nos fatores de caracterização (que apresentaram grande variação entre seus valores) quanto na porcentagem de destinação do pesticida. Para este último não foram encontrados estudos concretos que relatem a porção de pesticida que é lançado no solo, na água e no ar. Todos os dados foram coletados a partir de levantamento bibliográfico, conforme Quadro 7 e Quadro 8, no Apêndice A.

Com os dados existentes de cultivos de milho e soja construíram-se treze sistemas: Seis sistemas de cultivo de milho, sendo quatro para a região sul (Milho S1, S2, S3 e S4) e dois para a região centro-oeste (Milho C1 e C3) e sete sistemas de cultivo de soja, sendo quatro sistemas para a região sul (Soja S1, S2, S3 e S3) e três para a região centro-oeste (Soja C1, C2 e C3). Cada sistema possui uma forma de plantio (direto ou convencional) e uma forma de fertilização (química ou orgânica). O Quadro 3 explica as siglas de cada sistema de grão.

<b>Sigla</b>	<b>Plantio</b>	<b>Fertilização</b>	<b>Região</b>
S1	Direto	Química	Sul
S2	Direto	Orgânica	Sul
S3	Convencional	Química	Sul
S4	Convencional	Orgânica	Sul
C1	Direto	Química	Centro-oeste
C2	Direto	Orgânica	Centro-oeste
C3	Convencional	Química	Centro-oeste

Quadro 3: Siglas dos sistemas de milho e soja

Com o objetivo de criar cenários únicos de soja e milho em cada região do Brasil, buscou-se elaborar a proporção de cada sistema de grão. Primeiramente, para quantificar o cultivo a base de fertilização orgânica, calculou-se a maior capacidade possível de fornecimento de estrume. Isso foi feito multiplicando-se a quantidade média de estrume gerado por suínos, com a quantidade aproximada deste animal existente nas regiões Sul e Centro-oeste do Brasil. Analisou-se o valor obtido em relação à área de cultivo de milho e soja e observou-se que a fertilização orgânica seria suficiente para fornecer nutrientes somente a 1,6% dos grãos de milho no Centro-oeste do Brasil e 0,0% para os grãos de soja da mesma região. Para o sul, seria apenas 6,0% na produção de milho e 3,6% da produção de soja. Além disso, a partir de entrevistas com o corpo técnico da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), considerou-se que 80% da produção de milho e soja seja proveniente de plantio direto e 20 % de plantio convencional. Assim, para cada grão considerou-se uma composição média de sistemas (plantio direto e convencional e fertilização química e orgânica) em cada região, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Composição média de cada grão para cada região

<b>Grão / região</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Milho / Sul	75,20%	4,80%	18,80%	1,20%
Milho / Centro-oeste	78,40%	1,60%	20,00%	-
Soja / Sul	77,12%	2,88%	19,28%	0,72%
Soja / Centro-oeste	80,00%	-	20,00%	-

Considerou-se uma produtividade média de 6.000 kg/ha para o milho da região centro-oeste, 6.600 kg/ha para o milho da região sul. Para a soja considerou-se uma produtividade média de 2.791 kg/ha para o centro-oeste e 2.535 kg/ha para a soja da região sul.

As culturas de milho e soja não ocupam o solo por aproximadamente 6 meses, considerando-se desde a preparação do solo até que a área esteja disponível para outra cultura. Devido as

características climáticas do Brasil é possível aproveitar a mesma área para outra cultura anual ainda no mesmo ano agrícola. Por isso, considerou-se que, para ambas as culturas, apenas 50% da área é efetivamente ocupada. Para o desmatamento ocorrido na região centro-oeste, do percentual de área recentemente desmatada atribuída ao uso com culturas anuais, considerou-se que 50% ocorreu para o cultivo de soja, por ser esta a cultura principal na região. Para o milho, considerou-se apenas 30%, uma vez que admitiu-se que outras culturas plantadas na região também ocupam estas mesmas áreas.

### **3.2.3. Etapa de pós-colheita**

Após a colheita dos grãos, estes seguem para as demais etapas. Primeiramente ocorre a pós-colheita do grão, onde os mesmos serão secos e armazenados. Como há grandes silos de armazenamento nas cidades escolhidas como exportadoras (CONAB, 2009), foi estabelecido que a etapa de pós-colheita ocorreria nas respectivas cidades, por exemplo, o milho da região centro-oeste seria seco e armazenado na própria cidade de Chapadão do Céu (GO). O inventário desta etapa foi obtido a partir de Marques (2006).

### **3.2.4. Etapa de processamento da soja**

A soja seca é processada e transformada em óleo de soja e farelo de soja. Para esta etapa, considerou-se que a soja do centro-oeste fosse processada na cidade de Rondonópolis (MT) e a soja da região sul fosse processada na cidade de Ponta Grossa (PR), já que nestas cidades há indústrias de processamento de soja. Como o processamento de soja gera dois co-produtos (farelo e óleo de soja), realizou-se uma alocação econômica dos impactos ambientais. O inventário desta etapa foi obtido a partir de Nguyen (2009).

Foi escolhida alocação econômica por ser a mais adequada para este caso, segundo Ramírez (2009). Dessa maneira, considerou-se que pra cada 1000 kg de soja são gerados 758 kg de farelo de soja e 182 kg de óleo de soja. Estabeleceu-se um preço de 258,25 € por tonelada de farelo de soja e 576,42 € por tonelada de óleo de soja. Assim, após a alocação econômica, o farelo de soja é responsável por 65,1% dos impactos ambientais do processamento da soja e o óleo de soja por 34,9%.



### 3.2.5. Especificações dos transportes

Foi feito o levantamento das distâncias entre estas cidades produtoras e Chapecó, por rodovias e ferrovias. Considerou-se que caso houvesse disponibilidade de ferrovia em algum trecho, esta seria usada, e nas situações onde não havia, seriam usadas rodovias. Para isso foi usado o software *Google Earth* e um relatório de malha ferroviária da América Latina Logística (ALL). Para as ferrovias consideraram-se as distâncias exatas fornecidas pelo software *Google Earth*, já para as rodovias considerou-se a distância fornecida pelo mesmo software com um erro de 5%. Este erro foi adotado devido a pequenas variações que possam ocorrer no trecho, já que o malha rodoviária permite isso. A Figura 2 ilustra os locais de origem dos grãos de milho e soja, onde a soja é processada em farelo de soja e os meios de transporte de cada percurso.

Foram obtidas as origens dos demais grãos utilizados na ração (informação verbal <sup>4</sup>). Para estes casos, levantaram-se também as distâncias entre a cidade de Chapecó (SC) e as cidades exportadoras através do software *Google Earth*. Nos casos de transporte terrestre, considerou-se somente o rodoviário, com o mesmo erro de 5%. A origem dos demais ingredientes estão no Quadro 4. Para os oriundos de outros países considerou-se transporte marítimo destes locais até o porto de São Francisco do Sul (SC) e transporte rodoviário desta cidade até Chapecó (SC). Para o transporte marítimo, considerou-se também um erro de 5%.

Demais ingredientes	Local de origem
Gordura	Brasil (SC)
Sal	Brasil (RN)
Lisina	Brasil (RN)
Colina	China
Rovábio	França
Calcario	Brasil (MG)
Fosfato bicálcico	Brasil (SP)
Fitase	Finlândia
Metionina	EUA
Premix	Europa
Anticoccidianos e aditivos	EUA
Adsorvente	Brasil (SP)
Gordura	Brasil (SC)

Quadro 4: Origem dos demais ingredientes utilizados na fabricação da ração de frangos de corte

<sup>4</sup> Entrevista concedida pelo D. Sc. Rodrigo S. Toledo, responsável pela área de Nutrição Animal da Aurora Alimentos, no dia 8 de Outubro de 2009, na cidade de Chapecó (SC).

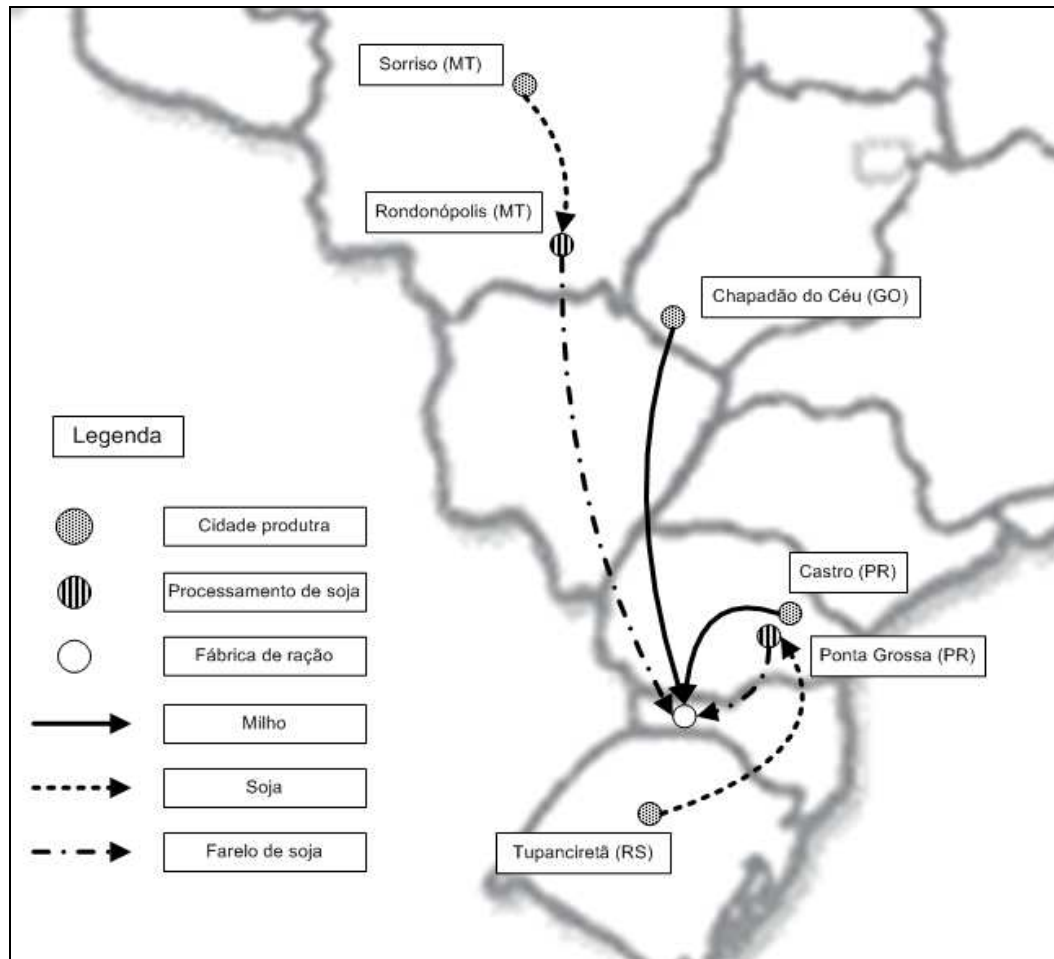


Figura 2: Locais de origem do cultivo de milho e soja, processamento da soja e meios de transporte utilizados

### 3.2.6. Especificações da produção de ração

Considerou-se que a etapa de produção de ração seria realizada na cidade de Chapecó (SC), com composição conforme Tabela 3:

Tabela 3: Composição de uma tonelada da ração em estudo

<b>Ingrediente</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
Grão de milho (seco)	563,00
Farelo de soja	333,60
Mix de gorduras	69,60
Sal	5,50
Fosfato bicálcico em pó	8,30
Calcário calcítico	10,60
Metionina líquida	3,60
L-lisina	2,00
Premix de frango	1,80
L-Treonina	0,90
Colina em pó (60%)	0,50
Fitase	0,10
Rovábio	0,10
Anticoccidiano	0,40
Adsorvente	0,10

O inventário e a composição da ração foram obtidos através de entrevista com uma empresa produtora de ração da região oeste de Santa Catarina (informação verbal <sup>5</sup>). Vale ressaltar que o “mix” de gorduras é uma mistura de gordura animal, de frangos e suínos, que substitui o óleo de soja citado na Tabela 1. Para este ingrediente estabeleceu-se que 50% seria de gordura de frangos e 50% de gordura de suínos. Como havia dificuldade para obter os dados de gordura de suínos, optou-se por substituir para este estudo a gordura suína pela gordura bovina, cujos dados já estavam disponibilizados pelo banco de dados *Ecoinvent*. Todos os demais ingredientes foram criados no software *Simapro 7.1*, com o apoio de sub-processos do mesmo banco de dados.

### 3.2.7. Especificações dos métodos de AICV escolhidos

Após a coleta de dados (e as devidas determinações), foi utilizado o software *Simapro 7.1* para modelar a ACV. Neste software criaram-se todos os processos e montaram-se os quatro cenários. Em seguida, fez-se a etapa de AICV destes quatro cenários, utilizando como métodos o Eco-indicator 99 H/A, o CML (modificado), a Pegada Ecológica e a Pegada de Carbono.

Para o método Eco-indicator 99, foi escolhida a classe de normalização/ponderação Hieraquizada com ponderação média, que é chamado de Eco-indicator 99 H/A. Optou-se por

<sup>5</sup> Entrevista concedida pelo D. Sc. Rodrigo S. Toledo, responsável pela área de Nutrição Animal da Aurora Alimentos, no dia 8 de Outubro de 2009, na cidade de Chapecó (SC).

essa classe, pois é a mais recomendada pelos seus criadores. A Igualitária e a Individualista são propostas para estudos mais robustos.

O método CML (modificado) foi criado a partir de alterações feitas no *CML 2 baseline 2000 version 2.04*. A partir desse último, acrescentou-se a categoria de impacto Ocupação de Solo (*Land Occupation*), original do método *CML 2001 (all impact categories) version 2.04*, e a categoria Demanda de energia acumulada (*Cumulative Energy Demand*), original do método de mesmo nome. Na categoria Aquecimento Global (*Global Warming*) alterou-se os valores de caracterização dos gases metano ( $\text{CH}_4$ ), metano biogênico ( $\text{CH}_4$ ) e óxido de dinitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ) para 25, 25 e 298, respectivamente, por ser uma atualização do modelo utilizado (IPCC 2001 GWP 100a). Para facilitar a comparação com os outros métodos, foi acrescentada uma etapa de ponderação e de agrupamento, assim geraram-se resultados em pontuação única também. Ponderaram-se os valores normalizados igualmente para todas as categorias de impacto obtendo o resultado em Pontos (Pt).

Para o método Pegada Ecológica, criou-se um método no software a partir do já existente *Ecological Footprint* (versão 1.0). Esse último possui três categorias de impacto ambiental (Nuclear, Dióxido de carbono e Ocupação de solo). No entanto, a proposta feita por (CHAMBERS; SIMMONS; WACKERNAGEL, 2000; WACKERNAGEL; REES, 1996; WACKERNAGEL; YOUNT, 1998) é de seis classes de ocupação de solo (Pastagem, Agricultura, Floresta, Água, Energia e Área construída). Assim, viu-se que seria mais interessante trabalhar com as categorias de ocupação de solo e, para isso, era necessário transformar aquelas categorias de impacto ambiental em categorias de ocupação do solo. Assim, primeiramente uniram-se as categorias de impacto ambiental ‘Nuclear’ e ‘Dióxido de Carbono’ e as ocupações de área originárias de reservatórios para geração de energia hidrelétrica, criando a categoria de ocupação do solo ‘Energia’. Após isso, dividiu-se a categoria de impacto ambiental ‘Ocupação de solo’ em Pastagem, Agricultura, Floresta, Água e Área construída de acordo com cada tipo de ocupação.

No método Pegada de Carbono, foi utilizado o modelo IPCC 2007 GWP 100a, conforme proposto por (BSI; CARBON TRUST; DEFRA, 2008a; b; FINKBEINER, 2009). Esse modelo substitui o modelo lançado em 2001 e utiliza um horizonte de 100 anos.

### 3.3. AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ESTUDO DE CASO

Através dos resultados gerados pelo software *Simapro 7.1* fez-se a comparação quantitativa entre os quatro métodos de AICV.

Primeiramente analisaram-se os resultados de cada método individualmente, levantando quais os processos mais impactantes para cada método, quais categorias de impacto foram mais relevantes nos métodos CML (modificado), Eco-indicator 99 H/A e Pegada Ecológica (a Pegada de Carbono apresenta somente uma categoria de impacto). Além disso, avaliaram-se quais processos são os principais contribuintes para as categorias de impacto mais relevantes em cada método de AICV e buscou-se entender o porquê desta contribuição.

Após essas análises individuais, compararam-se os resultados obtidos em pontuação única dos quatro métodos e também os resultados obtidos em categorias de impacto ambiental equivalentes (aquecimento global, ocupação de solo, acidificação/eutrofização e ecotoxicidade). Como as categorias dos métodos possuem unidades diferentes, fizeram-se normalizações internas e, assim, a comparação foi feita dos resultados relativos (em porcentagem).

Ao final, fez-se uma nova comparação dos resultados em pontuação única, porém dessa vez usando os resultados obtidos da análise de incertezas. Esta análise foi realizada no software *Simapro 7.1*, na opção análise de incertezas, que utiliza o método Monte Carlo. Para rodar essa ferramenta, foi adotado um coeficiente de confiança de 95% e realizadas 10.000 iterações. Com relação à obtenção do erro estocástico, foram adotadas distribuições log-normal e realizado um questionário a um painel de especialistas para compor o cenário de incertezas e respectivos valores de desvio-padrão dos dados em estudo, conforme proposto por Frischknecht et al. (2007).

### 3.4. AVALIAÇÃO FINAL DOS MÉTODOS DE AICV

A partir da avaliação qualitativa dos métodos e da avaliação quantitativa do estudo de caso, levantaram-se as principais vantagens e desvantagens observadas em cada método de AICV e foram propostas aplicações preferenciais de cada um.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS MÉTODOS DE AICV

Para uma avaliação qualitativa dos quatro métodos de AICV, analisou-se a classe dos métodos (*endpoint* ou *midpoint*), quais aspectos ambientais são considerados nas etapas de classificação e caracterização, se havia etapas de normalização e ponderação, as categorias utilizadas e fez-se uma análise de suas unidades.

Os critérios escolhidos nesse estudo serão usados apenas para fazer um diagnóstico dos métodos. Anteriormente foram apontadas as vantagens e desvantagens de cada critério, mas não será feita uma classificação entre eles, uma vez que não há consenso no meio científico para afirmar qual a melhor resposta para cada um. Na sequência serão apresentadas as características de cada método de AICV de acordo com aqueles critérios (Quadro 5):

Critérios	Eco-indicator 99		CML (modificado)	Pegada Ecológica <sup>6</sup>	Pegada de Carbono
Classe	Endpoint		Midpoint	Midpoint	Midpoint
Classificação e caracterização	Avalia consumo e a emissão de substâncias no meio ambiente (solo, água e ar)		Avalia consumo e a emissão de substâncias no meio ambiente (solo, água e ar)	Avalia a ocupação (real e virtual) de áreas	Avalia as entradas e saídas de GEE
Normalização	Sim		Sim	Sim <sup>7</sup>	Não
Ponderação <sup>8</sup>	Sim		Não	Não	Não
Categorias utilizadas	Categorias Endpoint	Categorias Midpoint	Aquecimento global	Energia	Aquecimento global
	Saúde humana	Mudanças climáticas	Acidificação	Pastagem	
		Radiação	Eutrofização	Agricultura	
		Depleção da camada de ozônio	Depleção da camada de ozônio	Floresta	
		Efeitos carcinogênicos	Toxicidade humana	Água	
		Danos respiratórios (subst. orgânicas)	Ecotox. aquática (água doce)	Área construída	
		Danos respiratórios (subst. inorgânicas)	Ecotoxicidade aquática (marinha)		
	Qualidade do Ecossistema	Acidificação / Eutrofização	Ecotoxicidade terrestre		
		Ecotoxicidade	Ocupação de solo		
		Uso do solo	Demanda total de energia acumulada		
	Recursos	Consumo de combustíveis fósseis	Depleção abiótica		
		Consumo de minerais	Oxidação fotoquímica		
Unidades	Pt, DALY, PDF*m²ano e MJ		Diversas	m²ano (ou m²a)	Kg CO₂eq

Quadro 5: Avaliação qualitativa entre os métodos de AICV

Dentre os quatro métodos, somente o CML não apresenta originalmente um resultado final na forma de pontuação única. No entanto, entre as modificações realizadas nesse método para o presente estudo, está a adição de etapas que levem a um resultado em pontuação única. Os outros três métodos geram resultados em pontuação única: O Eco-indicator 99 devido aos seus objetivos e a Pegada Ecológica e a Pegada de Carbono devido às suas unidades.

<sup>6</sup> Apesar da Pegada Ecológica dividir-se em seis categorias, pode-se dizer que ela mede somente uma categoria de impacto ambiental: Ocupação de área. Alguns autores poderiam ainda acrescentar que além do uso do solo, avalia-se também o aquecimento global, uma vez que é quantificada a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

<sup>7</sup> Não é uma definição explícita do método, mas pode-se dizer que a Pegada Ecológica utiliza a etapa normalização ao comparar a área ocupada por um produto com a referencia da área da Terra.

<sup>8</sup> Para este critério está sendo considerado que ocorre a etapa de ponderação se os valores usados nas categorias de impacto ambiental são diferentes entre si.

Somente o método Eco-indicator 99 é *endpoint*, sendo os outros três de classe *midpoint*. A normalização pode ser vista nos dois métodos clássicos e também, indiretamente, na Pegada Ecológica (nota de rodapé <sup>7</sup>). A ponderação como explicada na nota de rodapé <sup>8</sup> é encontrada somente no método Eco-indicator 99.

Os aspectos ambientais utilizados nas etapas de classificação e caracterização são os mesmos para os métodos Eco-indicator 99 e CML (modificado), no entanto há diferenças nas substâncias<sup>9</sup> avaliadas. Para a Pegada Ecológica, a preocupação restringe-se as ocupações de áreas reais e/ou virtuais (ocupações reais são as que ocorrem em algum momento do ciclo de vida do produto e as virtuais são devido ao seqüestro de carbono). Já para a Pegada de Carbono, a questão refere-se somente às emissões e capturas de GEE.

Em relação às categorias utilizadas, o Eco-indicator é o único método que possui categorias de impacto ambiental *endpoint* (saúde humana, qualidade dos ecossistemas e recursos). Quanto às categorias de impacto ambiental *midpoints* desse método, pôde-se observar que muitas são equivalentes ao método CML (modificado), diferentemente dos outros dois, já que a Pegada Ecológica preocupa-se unicamente com área ocupada (e também aquecimento global, já que contabiliza a emissão de CO<sub>2</sub>) e a Pegada de Carbono somente com o aquecimento global.

É importante ressaltar que as categorias utilizadas no método Pegada Ecológica, expostas no Quadro 5 e explicado na nota de rodapé 6, são categorias de ocupação do solo, como proposto por Chambers, Simmons e Wackernagel (2000). No entanto, estas categorias de ocupação do solo levam a duas categorias de impacto ambiental, que são Área ocupada e Aquecimento global.

Com relação às unidades usadas pelos métodos, o Eco-indicator 99 utiliza somente três para todas as categorias de impacto ambiental, sendo duas de difícil compreensão. A justificativa para isso deve-se a este ser um método orientado ao dano (*endpoint*), e por isso utiliza unidades que facilitem o agrupamento. As categorias ligadas ao consumo de recursos medem a energia retirada (MJ). O indicador de saúde humana mede a quantidade total de problemas

---

<sup>9</sup> As substâncias que são avaliadas em cada método foram analisadas através do banco de dados existente no software *Simapro* 7.1, e optou-se por não apresentá-las no trabalho.



de saúde, devido à incapacidade e morte prematura, atribuível a determinadas doenças e lesões. Para isso usa-se a unidade DALY, que em português significa Deficiência Ajustada de Anos de Vida, comparando tempo vivido com incapacidade e o tempo perdido devido à mortalidade prematura. Para medir as categorias ligadas à qualidade dos ecossistemas usa-se uma unidade chamada em português de Potencial de Desaparecimento de Espécies pela área ( $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ano}$ ). Ao final, os valores de cada categoria de impacto ambiental são agrupados formando categorias *endpoint* (Recursos, Saúde humana e Qualidade do ecossistema) que, após normalização, são agrupados novamente, numa unidade chamada Ecopontos (Pt). No método CML (modificado), são usadas unidades mais conhecidas e de melhor entendimento, já que não é necessário agrupar em categorias em dano como no Eco-indicator 99. Na Pegada Ecológica, para todas as categorias são usadas unidades de área ao ano, já que o intuito deste método é medir a área necessária para sustentar um determinado sistema. A Pegada de Carbono utiliza a unidade do próprio modelo do IPCC 2007 (GWP 100a), que é em massa de  $\text{CO}_2$  equivalente.

#### 4.2. OBJETIVO E ESCOPO DO ESTUDO DE CASO

O objetivo deste estudo de caso é avaliar quatro cenários de produção de ração, variando as origens do milho e da soja entre a região centro-oeste e a região sul do Brasil. O escopo do estudo vai desde o cultivo destes grãos, incluindo a secagem dos mesmos, o processamento da soja, os transportes e a industrialização da ração. Será considerada a produção de todos os insumos utilizados nos processos citados acima. Retira-se da análise os efeitos do uso de pesticidas nas lavouras, devido às incertezas observadas nos modelos de caracterização, considerando somente os impactos de suas produções.

#### 4.3. ICV DO ESTUDO DE CASO

Nesta parte do trabalho serão apresentados os ICV de cada um dos processos individualmente e ao final o ICV dos quatro cenários. Vale ressaltar que para elaborar este ICV final, dos quatro cenários, houve a necessidade de realizar alocação econômica na etapa de processamento de soja. Na Figura 3 está representado um fluxograma simplificado do sistema de ração de frangos de corte.

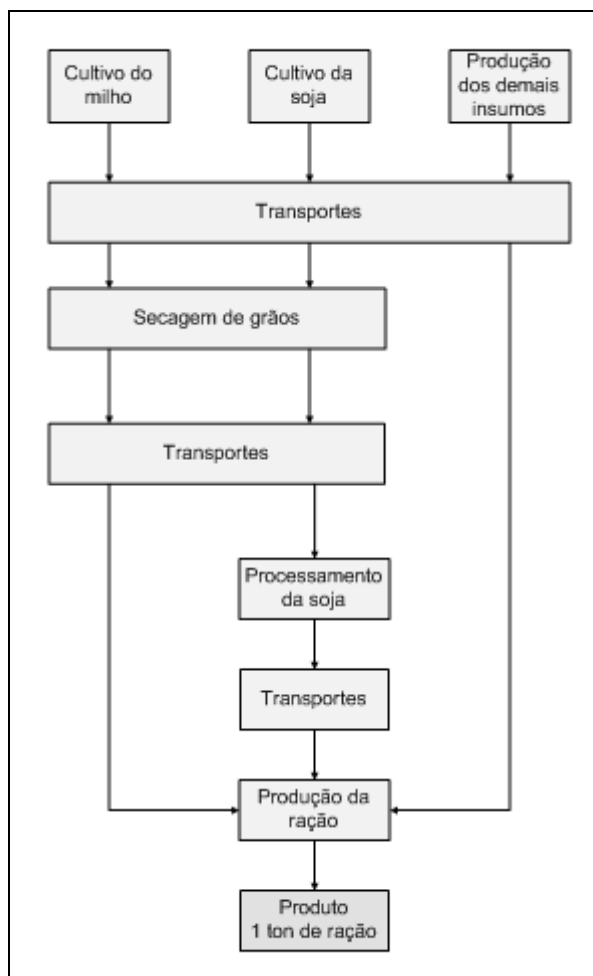


Figura 3: Fluxograma simplificado do sistema de ração de frangos de corte

O banco de dados do *Ecoinvent* possui duas formas de apresentar o ICV dos processos. A primeira, chamada de Unitária, apresenta somente os nomes dos sub-processos existentes e as entradas e saídas que ocorrem especificamente naquele processo. A segunda forma de apresentação, chamada de Sistêmica, apresenta todas as entradas e saídas que ocorreram até aquele processo. Nesta última forma de apresentação não é possível identificar qual a origem de cada emissão.

A Figura 4 mostra uma ilustração dessas duas formas de representação de ICV. No quadro do lado esquerdo está representada a forma Unitária. Ali, a linha pontilhada mostra o que é considerado no ciclo de vida do produto e o quadro acinzentado o que é representado no ICV. No quadro do lado direito está a representação da forma Sistêmica, com todas as entradas e saídas do ICV.

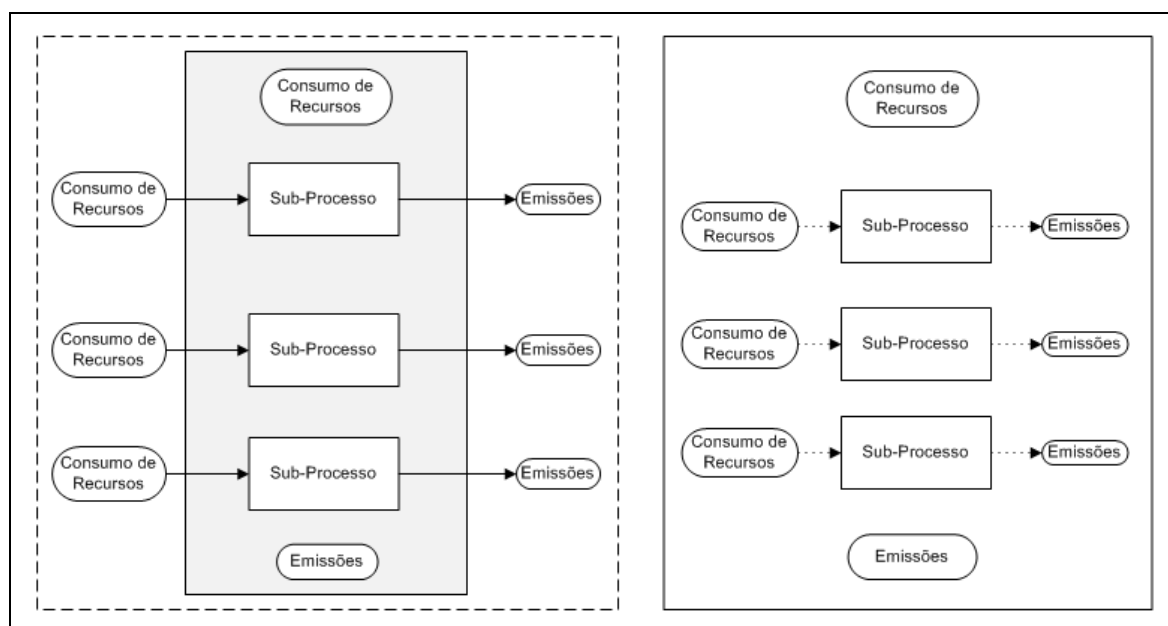


Figura 4: Ilustração das formas de apresentação (Unitária e Sistêmica) de ICV

Os ICV dos processos serão apresentados sob a forma Unitária. Já para o ICV de todo o ciclo de vida dos quatro cenários, será apresentada inicialmente a forma Unitária e posteriormente, no Apêndice C, sob a forma Sistêmica.

O ICV do cultivo de milho está representado na Tabela 4. Entre outros aspectos, pode-se observar que a área ocupada pelo milho da região centro-oeste é maior que a ocupada pelo milho da região sul.

Tabela 4: Inventário da etapa de cultivo de milho

Cultivo de milho		Milho da região centro-oeste	Milho da região sul
Substâncias			
<b>Entradas</b>			
	Uso de solo: transformações em terreno arado	1.666,67 m <sup>2</sup>	1.515,15 m <sup>2</sup>
	Uso de solo: transformações em floresta	5,98 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Uso de solo: transformações em cerrado	19,87 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Uso de solo: transformações para solo arado	1.692,52 m <sup>2</sup>	1.515,15 m <sup>2</sup>
	Ocupação de solo arado	833,33 m <sup>2</sup> a	757,58 m <sup>2</sup> a
	Processo de desmatamento	5,98 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Calcário	160,67 kg	151,52 kg
	Uréia	20,46 kg	26,20 kg
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13,12 kg	11,39 kg
	K <sub>2</sub> O	13,12 kg	11,39 kg
	Trator	0,73 kg	0,50 kg
	Colhedeira	1,33 kg	0,96 kg
	Máquinas agrícolas	0,98 kg	0,93 kg
	Diesel (produção e combustão)	10,70 kg	11,32 kg
	Transporte (16-32t) - entrada dos insumos	79,75 tkm	51,61 tkm
	Transporte (>32t) - para silo de secagem	40,00 tkm	20,00 tkm
	Glifosato (360 g/l)	0,144 kg	0,131 kg
	Atrazina (250 g/l)	0,208 kg	0,227 kg
Ingrediente ativo dos pesticidas usados	Simazina (250 g/l)	0,000 kg	0,227 kg
	Carbofurano (310 g/l)	0,021 kg	0,000 kg
	Nicossulfurom (40 g/l)	0,005 kg	0,000 kg
	Cipermetrina (200g/l)	0,005 kg	0,001 kg
	Outros pesticidas	0,013 kg	0,029 kg
<b>Saídas</b>			
ar	NH <sub>3</sub>	6,29 kg	8,23 kg
ar	N <sub>2</sub> O	0,54 kg	0,66 kg
ar	NO <sub>x</sub>	0,05 kg	0,06 kg
água	PO <sub>4</sub>	0,72 kg	0,52 kg
água	NO <sub>3</sub>	11,07 kg	10,07 kg
solo	Cd	1,24 g	1,11 g
solo	Cr	2,28 g	2,02 g
solo	Co	1,33 g	4,53 g
solo	Ni	2,22 g	2,04 g
solo	Pb	4,78 g	4,48 g
solo	Zn	1,88 g	6,31 g
demais	Dejetos líquidos de suínos	149,28 kg	508,80 kg
<b>Produto</b>			
	Milho	993,33 kg	993,94 kg

O ICV do cultivo de soja está representado na Tabela 5. Observa-se que a área ocupada pelo milho apresentado na Tabela 4 é sempre menor que a área ocupada pela soja, independente da região. Além disso, para a soja a maior área ocupada é na região sul, ao contrário do milho.

Tabela 5: Inventário da etapa de cultivo de soja

Cultivo de soja		Soja da região centro-oeste	Soja da região sul
Substâncias			
<b>Entradas</b>			
	Uso de solo: transformações em terreno arado	3.503,90 m <sup>2</sup>	3.945,50 m <sup>2</sup>
	Uso de solo: transformações em floresta	18,40 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Uso de solo: transformações em cerrado	61,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Uso de solo: transformações para solo arado	3.583,31 m <sup>2</sup>	3.945,50 m <sup>2</sup>
	Ocupação de solo arado	1.791,60 m <sup>2</sup> a	1.972,70 m <sup>2</sup> a
	Processos de desmatamento	18,40 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Calcário	644,99 kg	394,55 kg
	Uréia	3,23 kg	0,00 kg
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	32,25 kg	22,82 kg
	K <sub>2</sub> O	32,25 kg	22,82 kg
	Trator	1,92 kg	1,34 kg
	Colhedeira	2,87 kg	2,50 kg
	Máquinas agrícolas	2,21 kg	2,12 kg
	Diesel (produção e combustão)	28,69 kg	26,56 kg
	Transporte (16-32t) - entrada dos insumos	280,04 tkm	126,40 tkm
	Transporte (>32t) - para silo de secagem	40,00 tkm	20,00 tkm
	Glifosato (360 g/l)	0,413 kg	0,454 kg
	Carbendazim (500 g/l)	0,000 kg	0,020 kg
	Metamidofós (600 g/l)	0,107 kg	0,118 kg
Ingrediente ativo dos pesticidas usados	Epoxiconazol (50g/l)	0,009 kg	0,020 kg
	Trifuralina (450 g/l)	0,064 kg	0,071 kg
	Metalaxil-M (10 g/l)	0,004 kg	0,000 kg
	2,4-D	0,138 kg	0,000 kg
	Cipermetrina (200g/l)	0,007 kg	0,003 kg
	Ciproconazol (80 g/l)	0,009 kg	0,000 kg
	Outros pesticidas	0,144 kg	0,141 kg
<b>Saídas</b>			
ar	NH <sub>3</sub>	0,98 kg	0,40 kg
ar	N <sub>2</sub> O	0,35 kg	0,36 kg
ar	NO <sub>x</sub>	0,01 kg	0,03 kg
água	PO <sub>4</sub>	1,55 kg	1,36 kg
água	NO <sub>3</sub>	25,39 kg	36,70 kg
solo	Cd	3,76 g	2,47 g
solo	Cr	5,65 g	3,89 g
solo	Co	0,00 g	6,00 g
solo	Ni	6,23 g	2,21 g
solo	Pb	18,63 g	11,62 g
solo	Zn	0,00 g	8,78 g
demais	Dejetos líquidos de suínos	709,20 kg	0,00 kg
<b>Produto</b>			
	Soja	980,29 kg	980,27 kg

Na Tabela 6 está representado o inventário do processo de secagem de grãos. Este inventário, elaborado a partir de Marques (2006) e pelo banco de dados *Ecoinvent*, é utilizado para secar uma tonelada de grãos, sejam eles milho ou soja.

Tabela 6: Inventário da etapa de secagem de grãos

<b>Secagem de grãos</b>	
<b>Entradas</b>	
Ocupação de área	0,66 m <sup>2</sup> a
Transformação de área	5,00E-04 m <sup>2</sup>
Energia (queima de maravalha <sup>10</sup> )	4,82 MJ
Eletricidade	0,02 kWh
Ferro fundido	0,01 kg
Prédio	1,25E-05 m <sup>2</sup>
<b>Saídas</b>	
Calor (resíduo)	3,60 MJ
<b>Processo</b>	
Secagem de 1 tonelada de grãos (soja e/ou milho)	

O inventário do processamento da soja está representado na Tabela 7. Nele há as entradas e saídas para processar uma tonelada de grãos de soja secos. Ele foi elaborado a partir de Nguyen (2009).

Tabela 7: Inventário da etapa de processamento da soja

<b>Processamento da soja</b>	
<b>Entradas</b>	
Grãos de soja secos	1.000,00 kg
Hexano	2,14 kg
Ácido fosfórico	0,17 kg
Água	85,80 kg
Eletricidade	53,50 kWh
Energia (carvão mineral)	103,20 MJ
Energia (óleo mineral)	43,90 MJ
Energia (gás natural)	666,00 MJ
<b>Saídas</b>	
Hexano (para o ar)	2,14 kg
Efluentes líquidos	0,09 m <sup>3</sup>
Calor (resíduo)	3.236,00 MJ
<b>Produtos</b>	
Farelo de soja	758,00 kg
Óleo de soja	182,00 kg

A etapa de produção de ração está com as quantidades de entradas necessárias para produzir uma tonelada de ração e está representado na Tabela 8.

<sup>10</sup> Maravalha é a denominação atribuída aos resíduos do beneficiamento da madeira

Tabela 8: Inventário da etapa de produção de ração

<b>Produção da ração</b>		
<b>Entradas</b>		
Milho	563,00	kg
Farelo de soja	333,60	kg
Gordura	68,60	kg
Sal	5,50	kg
Fosfato bicálcico	8,30	kg
Calcário	10,60	kg
DL - metionina	3,60	kg
L - lisina	2,00	kg
Premix de frango	1,80	kg
Outros aminoácidos	2,10	kg
Elettricidade	5,50	kWh
<b>Produtos</b>		
Ração	1,00	ton

Os transportes de todos os ingredientes necessários para produzir a ração estão representados na Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11. A unidade utilizada é tkm, que representa uma tonelada transportada por um quilômetro.

Tabela 9: Inventário da etapa de transporte de milho

<b>Transporte de milho</b>			
		<b>Região</b>	
	<b>Insumo</b>	<b>Centro-oeste</b>	<b>Sul</b>
<b>Processos de entrada</b>			
Transporte rodoviário (caminhão >32t)	Grão de milho	396,00 tkm	126,00 tkm
Transporte ferroviário	Grão de milho	445,00 tkm	284,00 tkm
<b>Processos de saída</b>			
Transporte de milho para 1 tonelada de ração			

Tabela 10: Inventário da etapa de transporte de soja

<b>Transporte de soja</b>			
		<b>Região</b>	
	<b>Insumo</b>	<b>Centro-oeste</b>	<b>Sul</b>
<b>Processos de entrada</b>			
Transporte rodoviário (caminhão >32t)	Grão de soja	238,00 tkm	30,30 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 16 - 32t)	Farelo de soja	342,00 tkm	54,70 tkm
Transporte ferroviário	Grão de soja	0,00 tkm	394,00 tkm
Transporte ferroviário	Farelo de soja	375,00 tkm	168,00 tkm
<b>Processos de saída</b>			
Transporte de soja para 1 tonelada de ração			

Tabela 11: Inventário da etapa de transporte dos demais insumos

Transporte dos demais insumos			
	Insumo	Local de origem	Quantidade
<b>Processos de entrada</b>			
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Gordura	SC	3,83 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Sal	RN	20,70 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Lisina	SP	2,04 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Treonina	SP	0,92 tkm
Transporte marítimo	Colina	China	13,00 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Colina	China	0,28 tkm
Transporte marítimo	Rovábio	França	0,95 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Rovábio	França	0,06 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Calcário	MG	14,80 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Fosfato bicálcico	SP	5,40 tkm
Transporte marítimo	Fitase	Finlândia	1,25 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Fitase	Finlândia	0,06 tkm
Transporte marítimo	Metionina	EUA	36,00 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Metionina	EUA	1,98 tkm
Transporte marítimo	Premix	França	17,10 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Premix	França	0,99 tkm
Transporte marítimo	Anticoccidianos e aditivos	EUA	4,00 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Anticoccidianos e aditivos	EUA	0,22 tkm
Transporte rodoviário (caminhão 7,5-16t)	Adsorvente	SP	0,10 tkm
<b>Processos de saída</b>			
Transporte dos demais insumos para 1 tonelada de ração			

Na Tabela 12 está representado o ICV dos quatro cenários em estudo. Existem processos com valores constantes para todos os cenários (pós-colheita, processamento da soja e produção da ração) e existem processos que variam de acordo com os cenários, que são o cultivo de milho, o cultivo de soja e os transportes de milho e de soja, já que os quatros cenários variam a origem destes dois insumos.



Tabela 12: ICV dos quatro cenários de produção de ração (continua)

Origem	Substâncias	Ração CW - CW	Ração CW - SO	Ração SO - CW	Ração SO - SO
<b>Entradas</b>					
Processos de cultivo de milho e soja	Uso de solo: transformações em terreno arado	2.137,03 m <sup>2</sup>	2.287,34 m <sup>2</sup>	2.050,63 m <sup>2</sup>	2.200,94 m <sup>2</sup>
	Uso de solo: transformações em floresta	9,65 m <sup>2</sup>	3,39 m <sup>2</sup>	6,26 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Uso de solo: transformações em cerrado	32,02 m <sup>2</sup>	11,26 m <sup>2</sup>	20,76 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Uso de solo: transformações para solo arado	2.178,70 m <sup>2</sup>	2.301,99 m <sup>2</sup>	2.077,66 m <sup>2</sup>	2.200,94 m <sup>2</sup>
	Ocupação de solo arado	1.082,01 m <sup>2</sup> a	1.143,65 m <sup>2</sup> a	1.038,81 m <sup>2</sup> a	1.100,45 m <sup>2</sup> a
	Processos de desmatamento	9,65 m <sup>2</sup>	3,39 m <sup>2</sup>	6,26 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Calcário	310,56 kg	225,33 kg	305,32 kg	220,09 kg
	Uréia	12,69 kg	11,60 kg	15,94 kg	14,84 kg
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18,41 kg	15,20 kg	17,43 kg	14,22 kg
	K <sub>2</sub> O	18,41 kg	15,20 kg	17,43 kg	14,22 kg
	Trator	1,07 kg	0,87 kg	0,94 kg	0,74 kg
	Colhedeira	1,73 kg	1,61 kg	1,52 kg	1,39 kg
	Máquinas agrícolas	1,31 kg	1,27 kg	1,28 kg	1,25 kg
	Diesel (produção e combustão)	15,83 kg	15,10 kg	16,18 kg	15,45 kg
	Transporte (16-32t) - entrada dos insumos	140,50 tkm	88,22 tkm	124,53 tkm	72,25 tkm
	Transporte (>32t) - para silo de secagem	36,28 tkm	29,48 tkm	24,94 tkm	18,13 tkm
	Glifosato (360 g/l)	0,222 kg	0,236 kg	0,215 kg	0,229 kg
	Atrazina (250 g/l)	0,118 kg	0,125 kg	0,129 kg	0,135 kg
	Simazina (250 g/l)	0,036 kg	0,040 kg	0,165 kg	0,169 kg
	Lambda-cialotrina (50 g/l)	0,015 kg	0,019 kg	0,003 kg	0,007 kg
	Carbendazim (500 g/l)	0,025 kg	0,027 kg	0,022 kg	0,024 kg
	Metamidofós (600 g/l)	0,004 kg	0,003 kg	0,002 kg	0,001 kg
	Epoxiconazol (50g/l)	0,054 kg	0,007 kg	0,063 kg	0,016 kg
	Trifuralina (450 g/l)	0,002 kg	0,001 kg	0,002 kg	0,001 kg
	Carbofurano (310 g/l)	3,569 kg	3,566 kg	4,667 kg	4,664 kg
	Nicossulfurom (40 g/l)	0,358 kg	0,357 kg	0,424 kg	0,423 kg
	Metalaxil-M (10 g/l)	0,026 kg	0,026 kg	0,032 kg	0,032 kg

Tabela 13: ICV dos quatro cenários de produção de ração (continuação)

Origem	Substâncias	Ração CW – CW	Ração CW – SO	Ração SO – CW	Ração SO – SO
Vários processos	2,4-D	0,741 kg	0,542 kg	0,630 kg	0,431 kg
	Cipermetrina (200g/l)	6,394 kg	6,399 kg	5,820 kg	5,825 kg
	Ciproconazol (80 g/l)	0,704 kg	0,712 kg	0,630 kg	0,638 kg
	Outros pesticidas	1,819 kg	1,754 kg	1,669 kg	1,604 kg
	Elettricidade	37,01 kWh	37,01 kWh	37,01 kWh	37,01 kWh
Secagem de grãos	Ferro fundido	0,01 kg	0,01 kg	0,01 kg	0,01 kg
	Prédio	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>
	Energia (queima de maravalha)	4,32 MJ	4,32 MJ	4,32 MJ	4,32 MJ
	Energia (carvão mineral)	41,07 MJ	41,07 MJ	41,07 MJ	41,07 MJ
Processamento da soja	Energia (óleo mineral)	17,48 MJ	17,48 MJ	17,48 MJ	17,48 MJ
	Energia (gás natural)	265,00 MJ	265,00 MJ	265,00 MJ	265,00 MJ
	Hexano	0,61 kg	0,61 kg	0,61 kg	0,61 kg
	Ácido fosfórico	0,05 kg	0,05 kg	0,05 kg	0,05 kg
	Água	24,58 kg	24,58 kg	24,58 kg	24,58 kg
Transportes	Caminhão (>32t)	634,00 tkm	426,30 tkm	364,00 tkm	156,30 tkm
	Caminhão (16 - 32t)	342,00 tkm	54,70 tkm	342,00 tkm	54,70 tkm
	Trem	820,00 tkm	1.007,00 tkm	659,00 tkm	846,00 tkm
	Caminhão 7,5 - 16t - demais insumos	51,37 tkm	51,37 tkm	51,37 tkm	51,37 tkm
	Navio - demais insumos	72,30 tkm	72,30 tkm	72,30 tkm	72,30 tkm
Composição da ração	Milho	563,00 kg	563,00 kg	563,00 kg	563,00 kg
	Farelo de soja	333,60 kg	333,60 kg	333,60 kg	333,60 kg
	Gordura	68,60 kg	68,60 kg	68,60 kg	68,60 kg
	Sal	5,50 kg	5,50 kg	5,50 kg	5,50 kg
	Fosfato bicálcico	8,30 kg	8,30 kg	8,30 kg	8,30 kg
	Calcário	10,60 kg	10,60 kg	10,60 kg	10,60 kg
	DL - metionina	3,60 kg	3,60 kg	3,60 kg	3,60 kg
	L - lisina	2,00 kg	2,00 kg	2,00 kg	2,00 kg
	Premix de frango	1,80 kg	1,80 kg	1,80 kg	1,80 kg
	Outros aminoácidos	2,10 kg	2,10 kg	2,10 kg	2,10 kg

Tabela 14: ICV dos quatro cenários de produção de ração (conclusão)

Origem	Substâncias	Ração CW – CW	Ração CW – SO	Ração SO – CW	Ração SO – SO
<b>Saídas</b>					
Cultivo de milho e soja	NH <sub>3</sub> (ar)	3,90 kg	3,70 kg	5,00 kg	4,80 kg
	N <sub>2</sub> O (ar)	0,43 kg	0,43 kg	0,49 kg	0,50 kg
	NO <sub>x</sub> (ar)	0,03 kg	0,04 kg	0,03 kg	0,04 kg
	PO <sub>4</sub> (água)	0,93 kg	0,87 kg	0,82 kg	0,76 kg
	NO <sub>3</sub> (água)	14,92 kg	18,76 kg	14,34 kg	18,19 kg
	Cd (solo)	1,98 g	1,54 g	1,91 g	1,47 g
	Cr (solo)	3,22 g	2,62 g	3,07 g	2,47 g
	Co (solo)	0,75 g	2,80 g	2,56 g	4,61 g
	Ni (solo)	3,38 g	2,01 g	3,27 g	1,91 g
	Pb (solo)	9,05 g	6,66 g	8,88 g	6,49 g
	Zn (solo)	1,07 g	4,05 g	3,58 g	6,56 g
	Dejetos líquidos de suínos	325,95 kg	84,61 kg	529,55 kg	288,20 kg
Secagem e proc. da soja	Calor (resíduo)	930,37 MJ	930,37 MJ	930,37 MJ	930,37 MJ
Processamento da soja	Hexano (ar)	0,61 kg	0,61 kg	0,61 kg	0,61 kg
	Efluentes líquidos	0,03 m <sup>3</sup>	0,03 m <sup>3</sup>	0,03 m <sup>3</sup>	0,03 m <sup>3</sup>
<b>Produto</b>					
	Ração	1.000,00 kg	1.000,00 kg	1.000,00 kg	1.000,00 kg

#### 4.4. AICV DO ESTUDO DE CASO

Neste sub-capítulo são apresentados os resultados da avaliação de impacto dos quatro cenários de produção de ração, utilizando os quatro métodos de AICV. Primeiramente são apresentados os resultados obtidos pelo método Eco-indicator 99, em seguida pelo CML (modificado), posteriormente pela Pegada Ecológica e, finalmente, pela Pegada de Carbono. Para os três primeiros métodos, fizeram-se análises específicas nas categorias de impacto mais relevantes e nas que tivessem categorias equivalentes em outros métodos. Ao final fez-se uma análise dos *hotspots*<sup>11</sup> encontrados. Ainda neste sub-capítulo é apresentada a comparação entre os resultados de pontuação única dos quatro métodos de AICV e entre categorias de impacto ambiental equivalentes.

##### 4.4.1. Eco-indicator 99

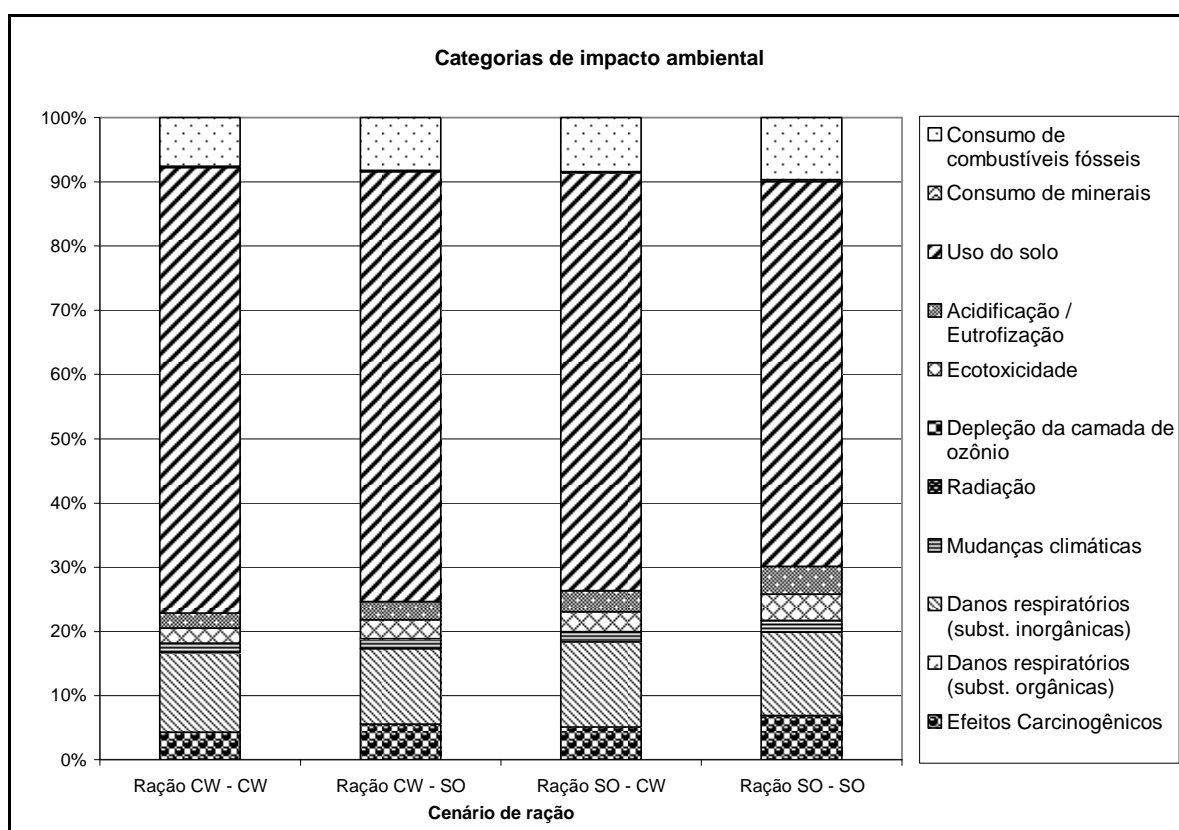


Figura 5: Contribuição relativa das categorias de impacto ambiental - Eco-indicator 99 <sup>12</sup>

<sup>11</sup> *Hotspot* é o ponto de um determinado sistema onde se observa a melhor oportunidade de melhoria ambiental.

<sup>12</sup> Para facilitar a compreensão das figuras, a simbologia da legenda e dos gráficos é crescente, por exemplo, a categoria 'efeitos carcinogênicos' é a primeira a aparecer na legenda e no gráfico, de baixo para cima.

A partir da Figura 5 observa-se que a categoria de impacto ambiental mais significativa é o ‘Uso do solo’ (listras grossas diagonais), com 69%, 67%, 65% e 60% do total dos impactos para os cenários CW – CW, CW – SO, SO – CW e SO – SO respectivamente. As categorias de impacto ‘Danos respiratórios (substâncias inorgânicas)’ (listras finas diagonais), e ‘Consumo de combustíveis fósseis’ (pontilhados), com valores entorno de 13% e 8%, respectivamente, também apresentam elevada contribuição. As categorias ‘Danos respiratórios (substâncias orgânicas)’, ‘Radiação’, ‘Depleção da camada de ozônio’ e ‘Consumo de minerais’ apresentam valores insignificantes, já que nos quatro cenários há pouco lançamento e/ou consumo de substâncias que causam esses impactos.

➤ Classificação dos cenários em pontuação única

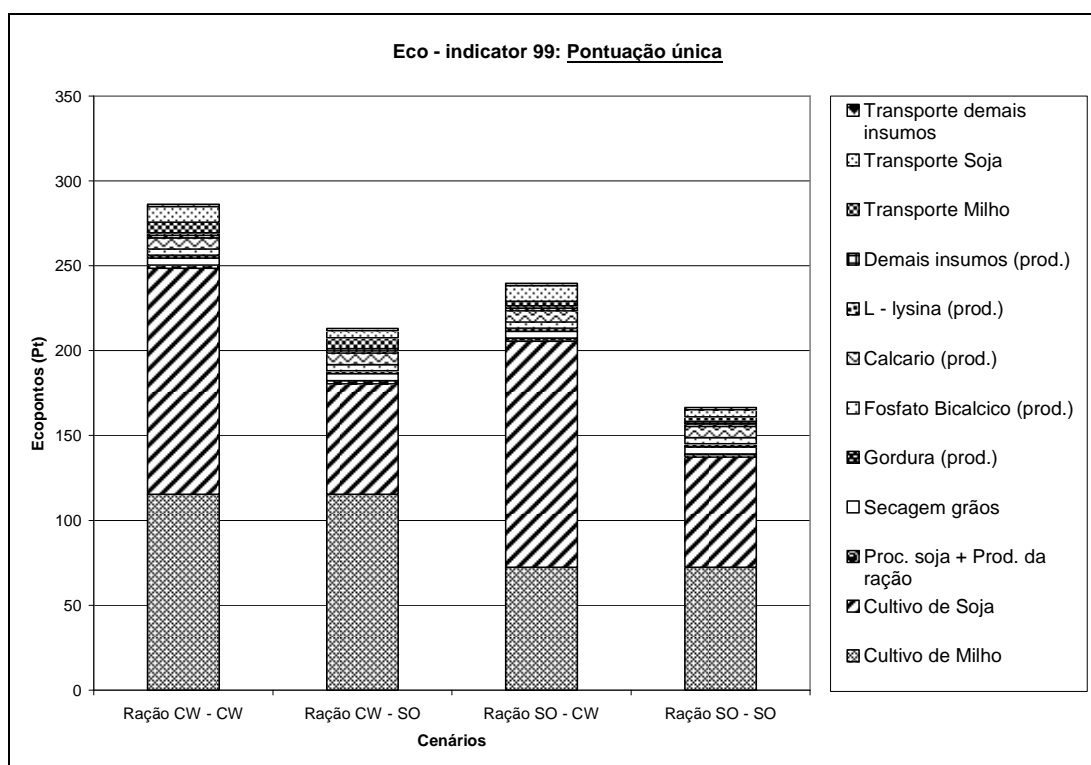


Figura 6: Contribuição dos processos e dos cenários - Eco-indicador 99

Analisando-se a Figura 6, o cenário CW – CW, com valor total de 286,31 pt foi o que apresentou pior desempenho ambiental, seguido pelo cenário SO – CW (239,69 pt) e do cenário CW – SO (213,07 pt), enquanto que o cenário SO – SO apresentou a melhor performance ambiental, com valor final de 166,45 pt.

Ao analisar cada cenário, é possível observar que os processos de cultivo de milho e de soja são os mais impactantes, em todos eles. Isso se deve aos impactos de uso do solo (ocupação e transformação do solo) causados por esses processos. Observando os processos separadamente dos cenários, o cultivo de soja na região centro-oeste apresenta maior impacto ambiental (133 pt), sendo que 46% deste valor é devido às transformações do uso do solo na região. O cultivo de milho da região centro-oeste é o segundo processo com maior impacto ambiental, 115,46 pt; destes, 39% são referentes à ocupação do solo.

➤ Análise da categoria de impacto ‘Acidificação/Eutrofização’

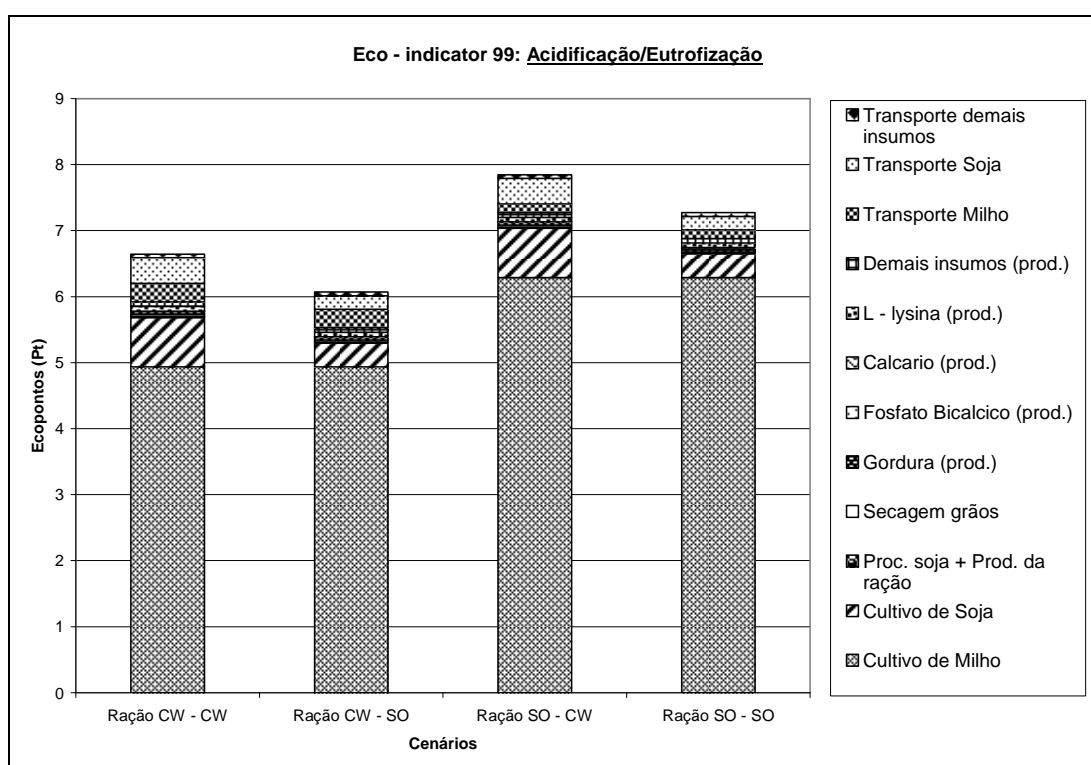


Figura 7: Contribuição dos processos em acidificação/eutrofização - Eco-indicator 99

A partir da Figura 7, observa-se que ao analisar os cenários somente por esta categoria, o SO – CW é o pior e o CW – SO o melhor, diferentemente da avaliação por pontuação única. O processo de cultivo de milho, da região sul e da região centro-oeste, são claramente os principais contribuintes deste impacto ambiental, com 6,29 pt e 4,94 pt, respectivamente. Destes valores, 96% dos impactos do cultivo de milho da região sul são causados pela emissão de amônia, devido à aplicação de fertilizantes. A causa do elevado impacto no milho do centro-oeste é a mesma, variando somente a porcentagem, 95%.

➤ Análise da categoria de impacto ‘Ecotoxicidade’

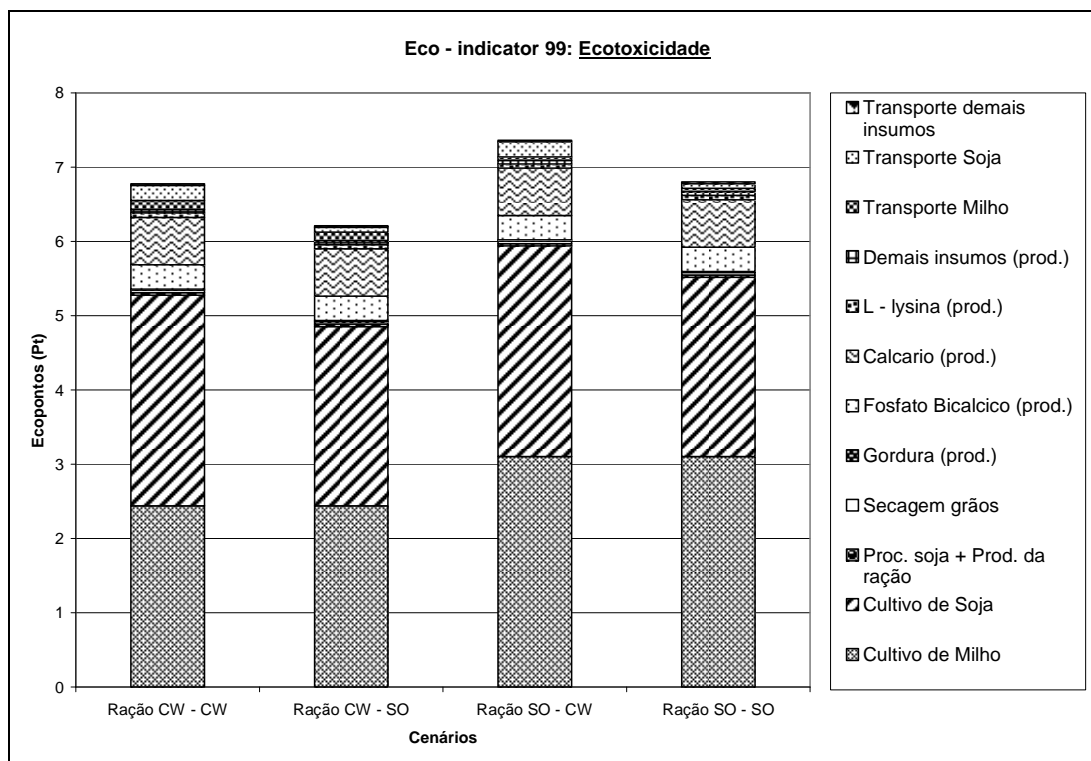


Figura 8: Contribuição dos processos em ecotoxicidade - Eco-indicador 99

Pela Figura 8, é possível observar que numa análise apenas por esta categoria, o cenário SO – CW seria o pior e o CW – SO o melhor, ao contrário da avaliação por pontuação única. Os processos mais impactantes são o cultivo de milho da região sul (3,10 pt), o cultivo de soja da região centro-oeste (2,84 pt), o cultivo de milho da região centro-oeste (2,44 pt) e o cultivo de soja da região sul (2,41 pt).

Através do banco de dados gerado pelo software Simapro 7.1, observou-se que para os grãos cultivados na região sul (milho e soja), o lançamento de zinco no solo é o principal causador deste impacto, contribuindo com 29% e 27%, respectivamente, do valor total de ecotoxicidade. Já para a soja e o milho cultivado na região centro-oeste, é o níquel lançado no solo o principal causador, com respectivamente 39% e 31% do valor total desta categoria.

➤ Análise da categoria de impacto 'Uso do solo'

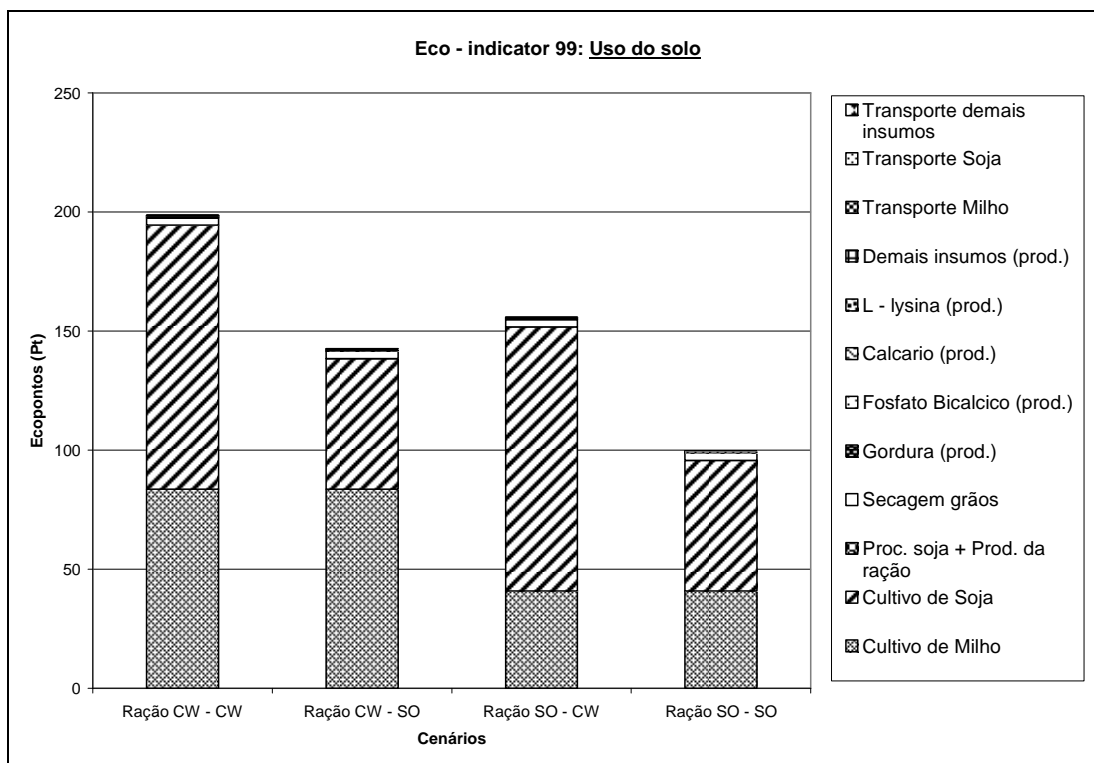


Figura 9: Contribuição dos processos em uso do solo - Eco-indicador 99

Como pode ser observado na Figura 9, a classificação dos cenários é igual a da pontuação única, já que esta categoria é a mais significativa. Os processos mais impactantes são o cultivo de soja e milho da região centro-oeste, com 110,81 pt e 83,60 pt, respectivamente. Para o processo da soja da região centro-oeste, 55% do valor do impacto refere-se às transformações do solo e 45% à ocupação do solo para agricultura. Para o processo do milho da mesma região ocorre o contrário, 54% dos impactos são causados devido à ocupação do solo para agricultura e 46% devido às transformações do solo.



➤ Análise da categoria de impacto ‘Mudanças climáticas’

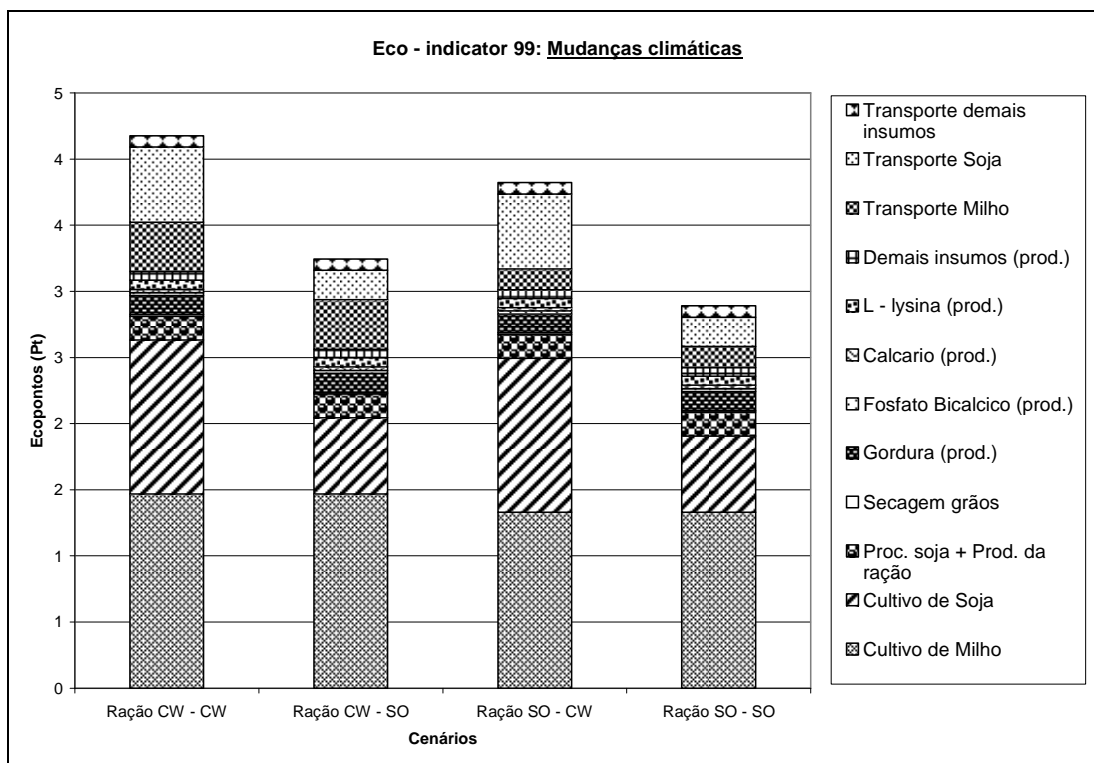


Figura 10: Contribuição dos processos na categoria mudanças climáticas - Eco-indicator 99

Como pode ser observado pela Figura 10, o cultivo de milho da região centro-oeste, com 1,47 pt, o cultivo de milho da região sul, com 1,33 pt e o cultivo de soja da região centro-oeste, com 1,16 pt, são os processos que mais contribuem para esta categoria de impacto ambiental.

Com relação ao milho cultivado na região centro-oeste, dos 1,47 pt, 54% deve-se a emissão de CO<sub>2</sub>, sendo que a maior parte deve-se a produção de uréia e ao desmatamento<sup>13</sup>. 41% dos ecopontos são devido às emissões de N<sub>2</sub>O, que ocorrem devido ao uso de fertilizantes (químicos e orgânicos) e aos processos de degradação de raízes, matéria orgânica, palha e restos de cultura.

Para o processo de cultivo de milho da região sul, os valores relativos dos gases se invertem, ou seja, 54% da contribuição é devido às emissões de N<sub>2</sub>O, que ocorre devido ao uso de fertilizantes (químicos e orgânicos) e aos processos de degradação de raízes, matéria orgânica, palha e restos de cultura e 44% devido às emissões de CO<sub>2</sub>, em sua maioria devido à produção de uréia, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e ao consumo de diesel nos processos agrícolas.

<sup>13</sup> Quando se refere a impactos do ‘desmatamento’, são computadas apenas as emissões de substâncias dos processos necessários para realizar o desmatamento, como emissões pelo uso de máquinas e as queimadas.

Para o cultivo de soja da região centro-oeste, 0,86 pt (74%) são devido às emissões de CO<sub>2</sub>, principalmente devido ao desmatamento.

➤ Análise da categoria de impacto ‘Danos respiratórios (substâncias inorgânicas)’

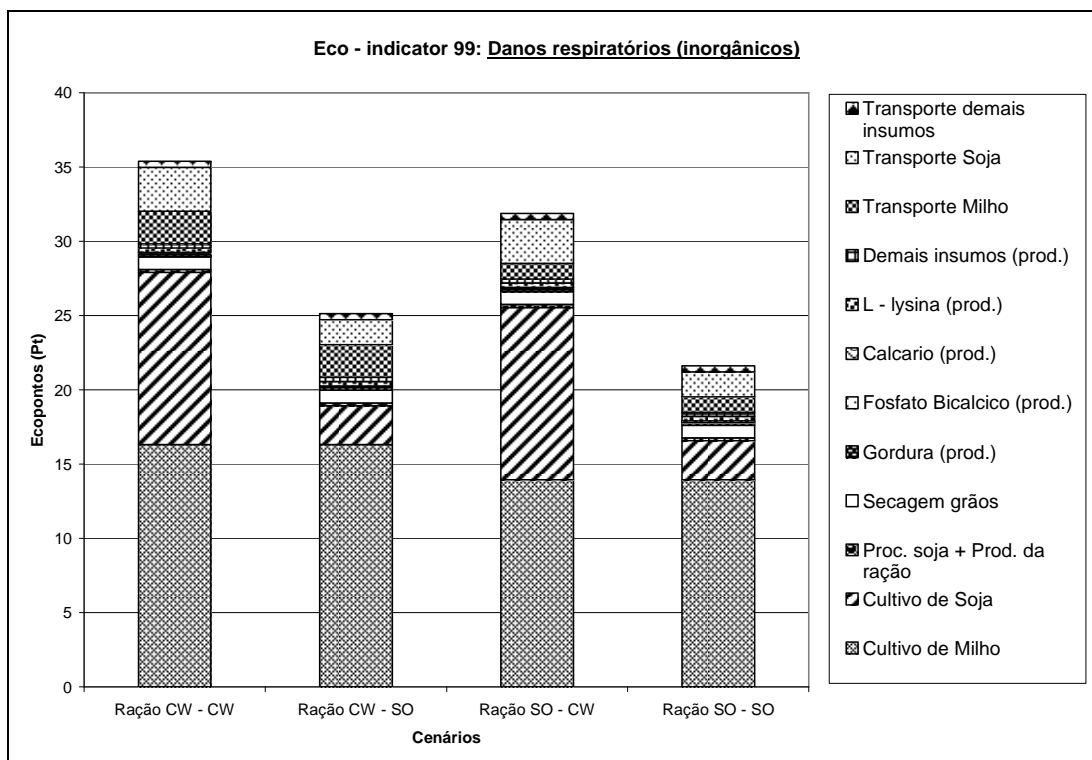


Figura 11: Contribuição dos processos na categoria danos respiratórios (inorgânicos) - Eco-indicator 99

Os processos que mais contribuem para esta categoria de impacto são o cultivo de milho do centro-oeste, o cultivo de milho da região sul e o cultivo de soja da região centro-oeste, com 16,31 pt, 13,95 pt e 11,59 pt, respectivamente (Figura 11).

No processo do milho, tanto para o cultivado na região centro-oeste quanto para o cultivado na região sul, a maior parte dos danos respiratórios são causados pela emissão de amônia, devido ao uso de fertilizantes, contribuindo com 52% e 79% dos ecopontos, respectivamente.

No processo do cultivo de soja, a emissão de particulados (<2.5 µm) é a principal fonte de danos respiratórios, contribuindo com 68% neste impacto. 90% destas emissões de particulados são provenientes do desmatamento.

➤ Análise da categoria de impacto ‘Consumo de combustíveis fósseis’

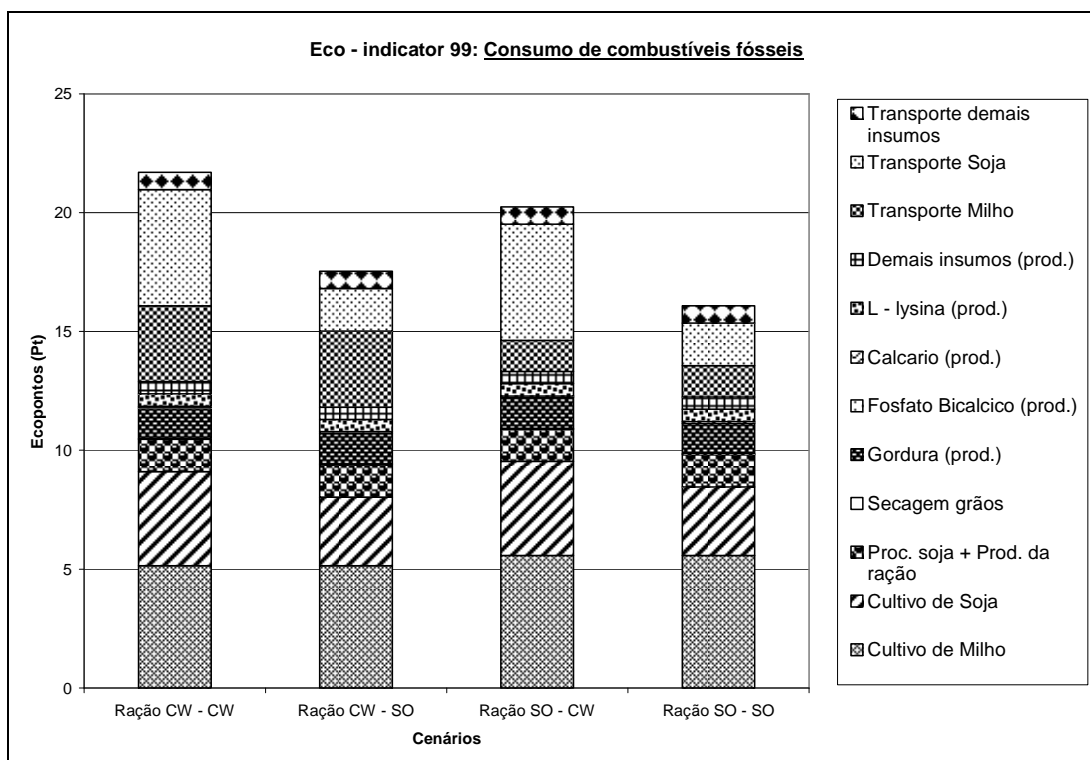


Figura 12: Contribuição dos processos na categoria consumo de combustíveis fósseis - Eco-indicator 99

Analisando-se a Figura 12, observa-se que esta categoria de impacto não apresenta um único processo como principal causador de impacto, sendo os principais o cultivo de milho da região sul (5,58 pt), o cultivo de milho da região centro-oeste (5,15 pt), o transporte de soja do centro-oeste (4,88 pt), o cultivo de soja da região sul (3,95 pt), o transporte de milho da região centro-oeste (3,20 pt) e o cultivo de soja centro-oeste (2,88 pt).

O gás natural (80% dele consumido na etapa de produção de uréia), e o petróleo (42% dele referente ao consumo de diesel nas etapas de preparo do solo, plantio de sementes, colheita, entre outros), contribuem com 52% e 48% dos 5,58 pt do processo de cultivo de milho da região sul.

Nos processos de cultivo de milho da região centro-oeste, do cultivo de soja da mesma região e do cultivo de soja da região sul, o consumo de diesel (ocorrido ao longo das etapas de preparo do solo, plantio de sementes, colheita, entre outros), foi o principal causador do consumo de combustíveis fósseis, contribuindo com 20%, 37% e 47% respectivamente.

92% do impacto ambiental no processo de transporte de soja e de milho vindos do centro-oeste são causados devido ao consumo de petróleo. Para o primeiro caso, 56% é consumido no transporte rodoviário do farelo de soja, 28% no transporte rodoviário de grãos secos e 16% no transporte ferroviário do farelo de soja. Para o segundo caso, 71% do petróleo é consumido no transporte rodoviário do grão seco e 29% no transporte ferroviário do mesmo insumo.

#### **4.4.2. CML (modificado)**

O método CML originalmente não apresenta valores em pontuação única. No entanto, para que se possa facilitar a comparação com os outros três métodos, acrescentaram-se duas etapas opcionais (ISO, 2006a; b): ponderação e agrupamento. Portanto, a partir dos valores normalizados, fez-se uma ponderação seguida de agrupamento, obtendo resultados em pontuação única. Todas as categorias de impacto foram multiplicadas pelo mesmo valor,  $1 \times 10^{12}$ . Isso foi usado somente para obter o resultado em pontuação única do método CML (modificado), sendo que as análises de cada categoria de impacto foram realizadas por seus valores de caracterização.

Através da Figura 13 é visível que o impacto mais expressivo para os quatro cenários é a ‘Ecotoxicidade marinha’. Além dela, a ‘Eutrofização’, ‘Acidificação’, ‘Depleção abiótica’ e a ‘Ecotoxicidade de água doce’ apresentam elevada contribuição. A categoria ‘Depleção da camada de ozônio’ apresenta valores insignificantes e a categoria ‘Demanda total de energia acumulada’ apresenta valores nulos. Esta última deve-se a não estarem disponíveis valores para a normalização.

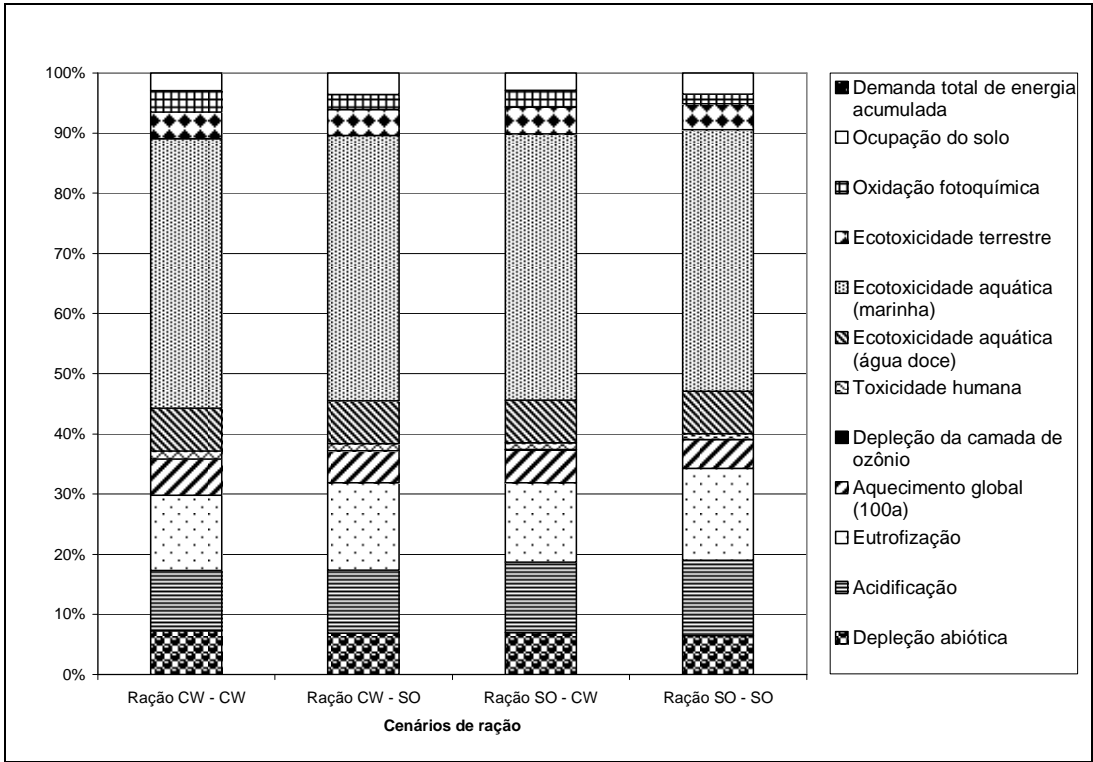


Figura 13: Contribuição relativa das categorias de impacto ambiental normalizados – CML

➤ Classificação dos cenários em pontuação única

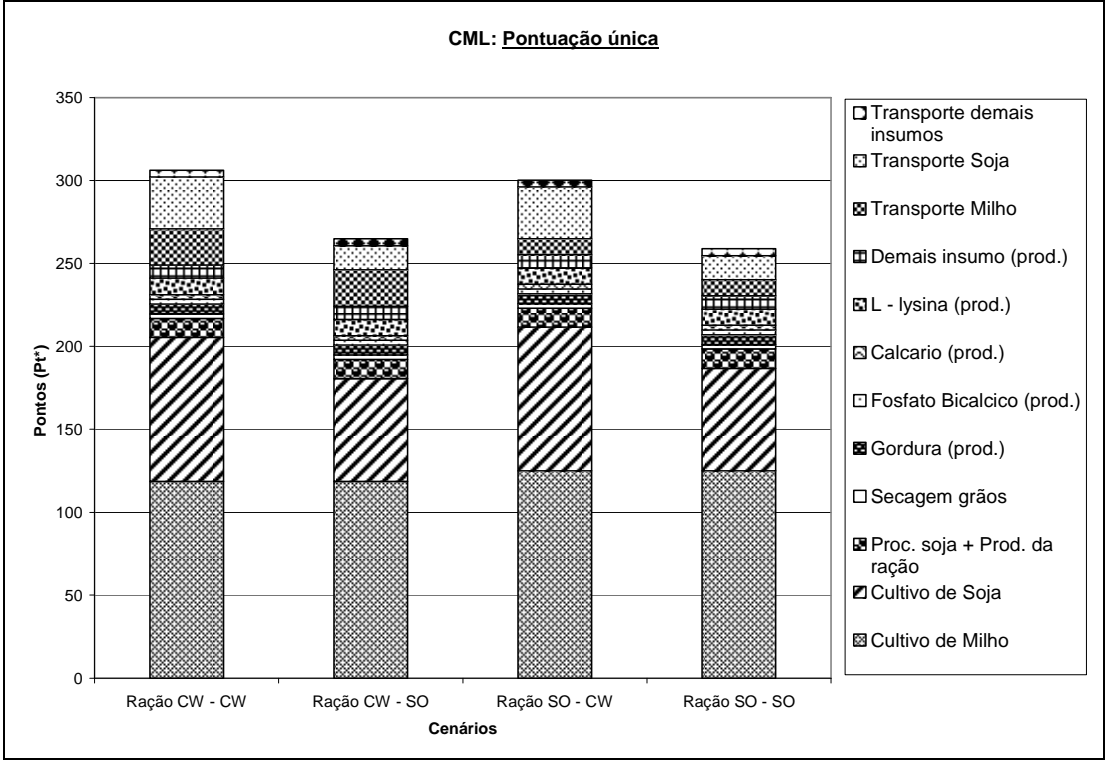


Figura 14: Contribuição dos processos e dos cenários - CML

Neste método a unidade em pontuação única também é em “pontos”, no entanto, para diferenciar com o Eco-indicator 99, a sigla será acompanhada de um asterisco (pt\*). Analisando-se a Figura 14, o cenário CW – CW, com valor total de 305,97 pt\* foi o que apresentou pior desempenho ambiental, seguido pelo cenário SO – CW (300,02 pt\*) e do cenário CW – SO (264,69 pt\*), enquanto que o cenário SO – SO apresentou a melhor performance ambiental, com valor final de 258,74 pt\*.

Analisando o gráfico é possível observar que o cultivo de milho e de soja são os processos mais impactantes, em todos os cenários. Por outro lado, observando os processos separadamente dos cenários, o cultivo de milho na região sul é o que apresenta o maior impacto ambiental (124,87 pt\*), seguido do cultivo de mesma cultura na região centro-oeste, em segundo lugar, com 118,65 pt\*.

➤ Análise da categoria de impacto ‘Eutrofização’

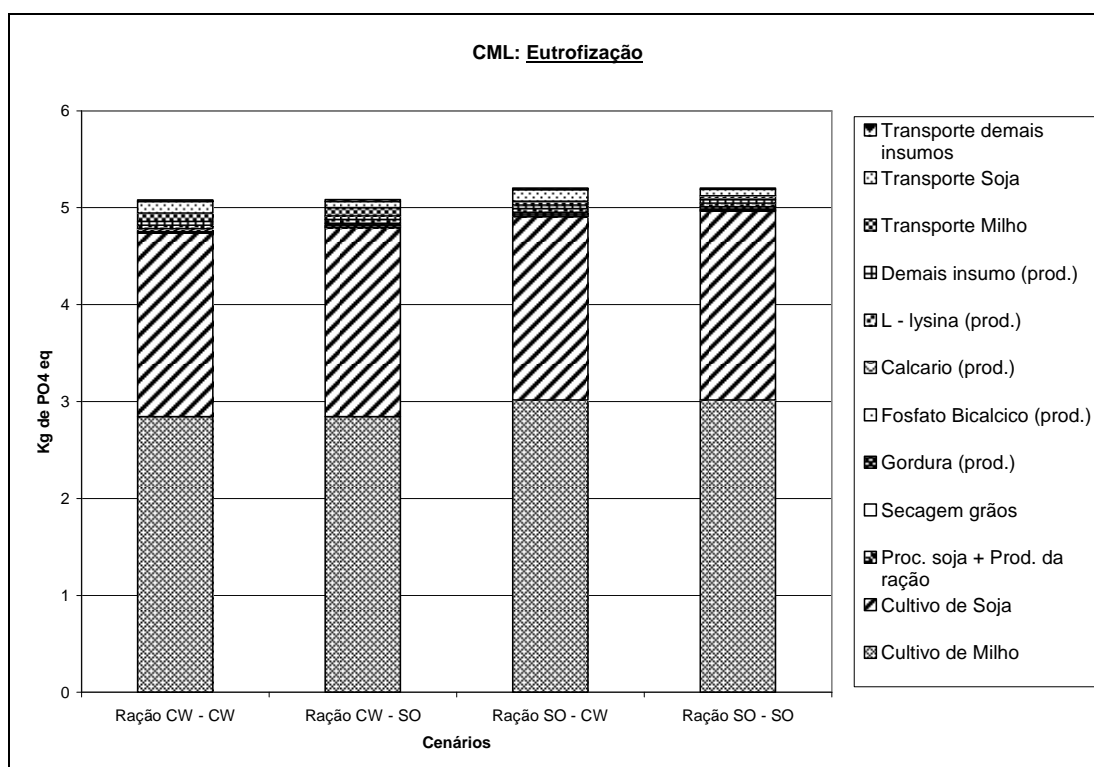


Figura 15: Contribuição dos processos na categoria eutrofização - CML

A partir da Figura 15 é possível observar que o milho da região sul, seguido do cultivado na região centro-oeste são os processos com maior contribuição à categoria ‘Eutrofização’. Para ambos, a emissão de amônia no ar, devido ao uso de fertilizantes no cultivo, é o principal contribuinte, com 58% e 47% respectivamente. Para os processos de cultivo de soja do

centro-oeste e do sul, o principal contribuinte é o lançamento de fosfato (47%) e nitrato na água (58%). Essas emissões ocorrem devido ao uso de fertilizantes no cultivo.

➤ Análise da categoria de impacto 'Acidificação'

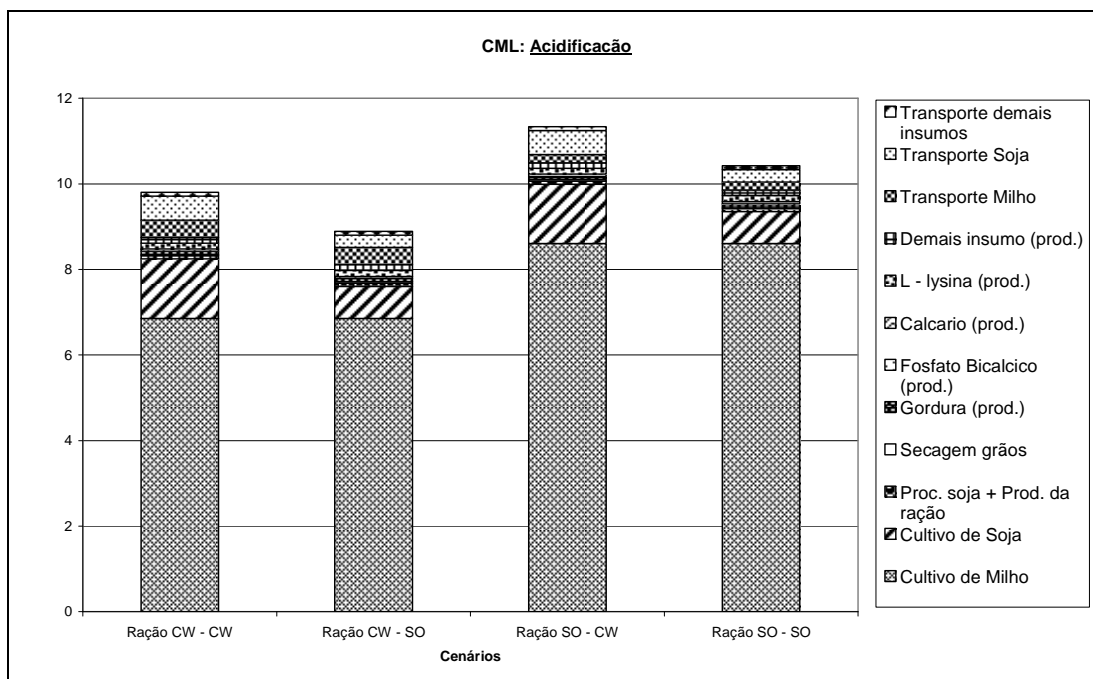


Figura 16: Contribuição dos processos na categoria acidificação - CML

A partir da Figura 16 observa-se que os processos de milho cultivados na região sul e na região centro-oeste são os principais contribuintes desta categoria e, em ambos, isso se deve principalmente à emissão de amônia no ar, devido ao uso de fertilizantes no cultivo (93% e 90% respectivamente).

➤ Análise da categoria de impacto ‘Aquecimento global’

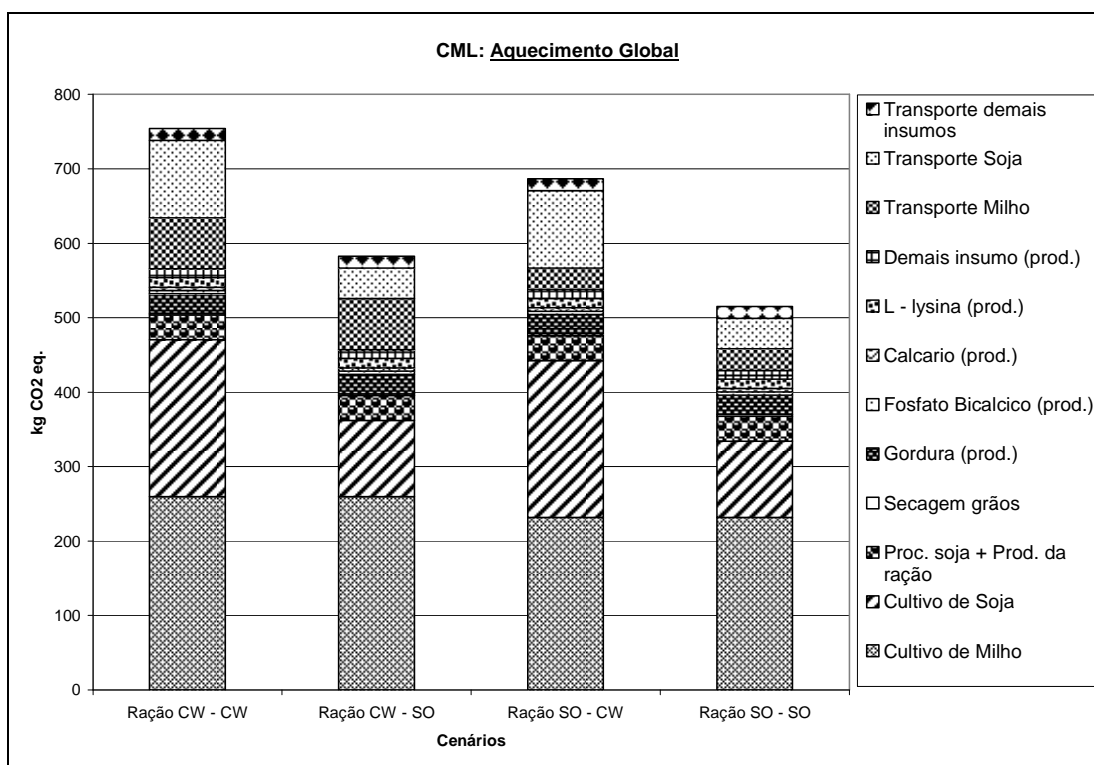


Figura 17: Contribuição dos processos na categoria aquecimento global - CML

A classificação dos cenários por esta categoria se mantém igual à da pontuação única, com o cenário CW – CW sendo o pior (754,08 kg de CO<sub>2</sub> eq), o SO – CW o segundo pior (686,60 kg de CO<sub>2</sub> eq), em seguida o cenário CW – SO (582,43 kg de CO<sub>2</sub> eq) e finalmente o cenário SO – SO (514,94 kg de CO<sub>2</sub> eq). A partir da Figura 17 observa-se que os processos de milho (cultivado na região centro-oeste e na região sul) e o processo de soja da região centro-oeste são os principais contribuintes ao aquecimento global, com respectivamente 259,55 kg de CO<sub>2</sub> eq, 231,70 kg de CO<sub>2</sub> eq e 210,74 kg de CO<sub>2</sub> eq. Para a soja e o milho do centro-oeste, a emissão de CO<sub>2</sub>, devido ao desmatamento principalmente, é o principal contribuinte nesta categoria de impacto (75% e 56% respectivamente). Já para o milho da região sul, é a emissão de N<sub>2</sub>O a substância que mais contribui com o impacto de aquecimento global (51%).



➤ Análise da categoria de impacto 'Toxicidade humana'

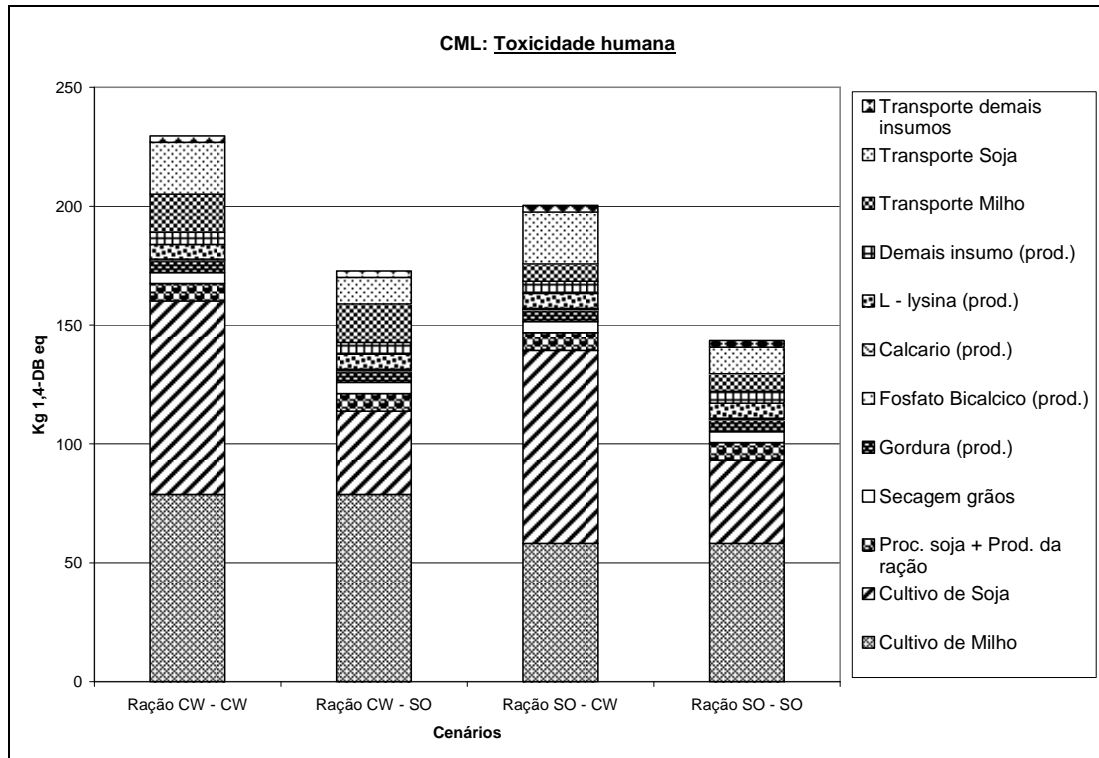


Figura 18: Contribuição dos processos na categoria toxicidade humana - CML

A substância que mais contribui para o impacto da toxicidade humana é o benzeno, emitido principalmente no sub-processo de desmatamento (devido ao combustível das máquinas utilizadas para desmatar), que ocorre nos processos de milho e soja cultivados na região centro-oeste (Figura 18).

➤ Análise da categoria de impacto 'Ecotoxicidade marinha'

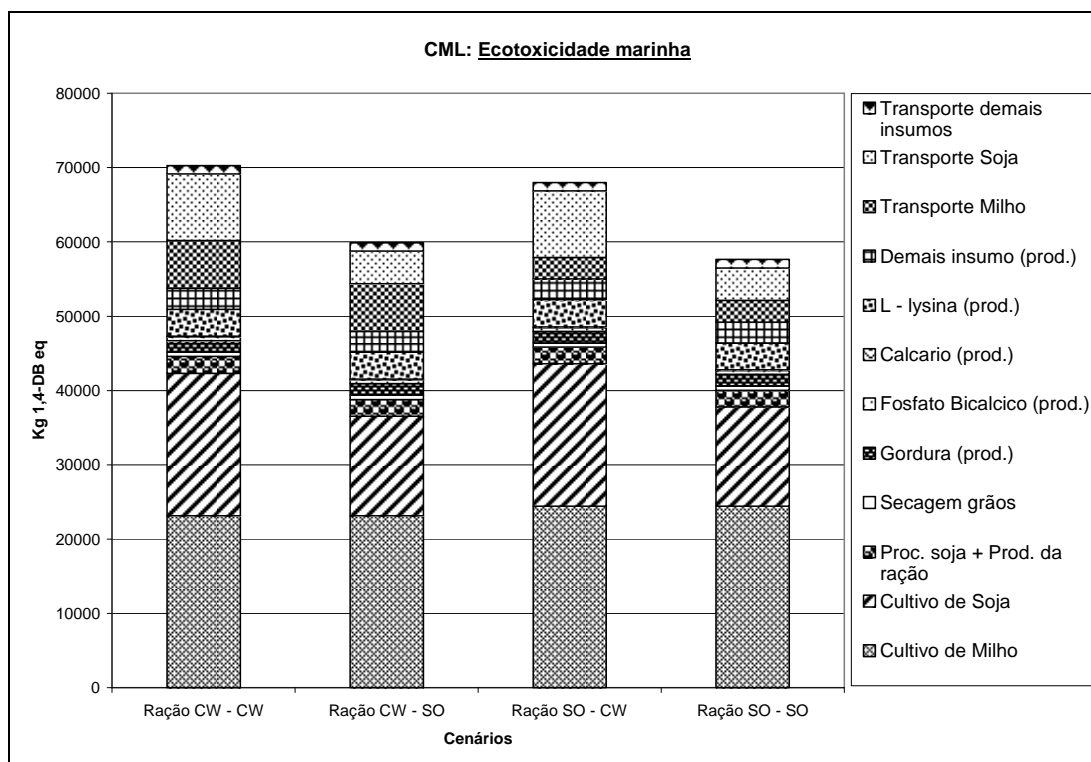


Figura 19: Contribuição dos processos na categoria ecotoxicidade marinha - CML

Como pode ser observado pela Figura 19, para a categoria 'Ecotoxicidade marinha', os processos mais impactantes são o milho da região sul, o milho da região centro-oeste, a soja da região centro-oeste e a soja da região sul, com 24,4 t de 1,4-DB eq, 23,2 t de 1,4-DB eq, 19,2 t de 1,4-DB eq e 13,4 t de 1,4-DB eq, respectivamente.

Para o milho da região sul, as substâncias que mais contribuem com este impacto são o Vanádio, emitido para o ar principalmente no sub-processo de produção da uréia, e a Barita, lançada na água no mesmo sub-processo.

No caso do milho da região centro-oeste, o Vanádio, emitido para o ar principalmente no sub-processo de produção da uréia, também é a substância que mais contribui para este impacto, no entanto, em segundo lugar há, além da Barita, o Níquel, lançado na água principalmente na etapa de produção do  $P_2O_5$ .

Para a soja do centro-oeste e da região sul, as substâncias que mais contribuem são o Níquel lançado na água durante a produção de  $P_2O_5$  e a Barita, lançada na água devido à produção do diesel consumido no cultivo.

➤ Análise da categoria de impacto 'Ocupação do solo'

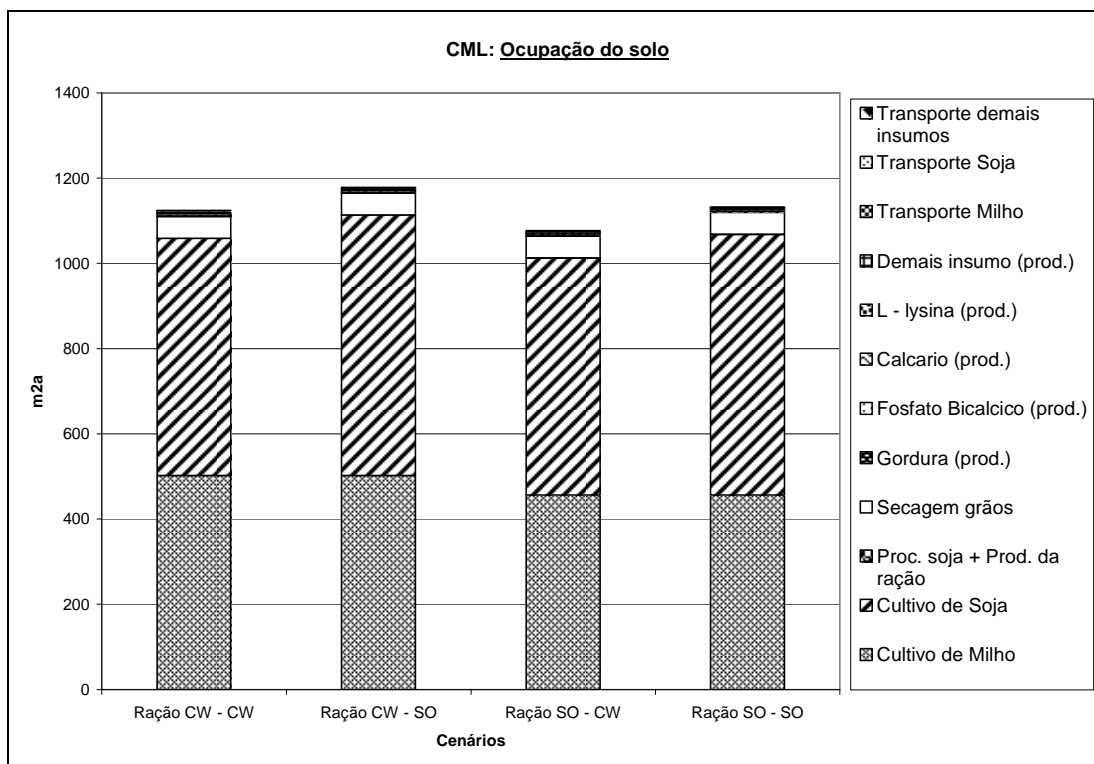


Figura 20: Contribuição dos processos em ocupação do solo - CML

Para caracterizar esta categoria de impacto ambiental (assim como para o método Pegada Ecológica que será visto mais à frente), é utilizada a unidade  $m^2a$ , que é uma unidade de área (metros quadrados) vezes uma unidade de tempo (anos). Neste impacto ambiental, os processos da soja da região sul, da soja da região centro-oeste, do milho da região centro-oeste e do milho da região sul são os que mais impactam nos cenários estudados, contribuindo com  $611,54 m^2a$ ,  $556,38 m^2a$ ,  $502,22 m^2a$  e  $456,36 m^2a$ , respectivamente. Destes valores, para os quatro cenários, 99% deve-se à ocupação de solo na agricultura (Figura 20).

➤ Análise da categoria de impacto ‘Demanda de energia total acumulada’

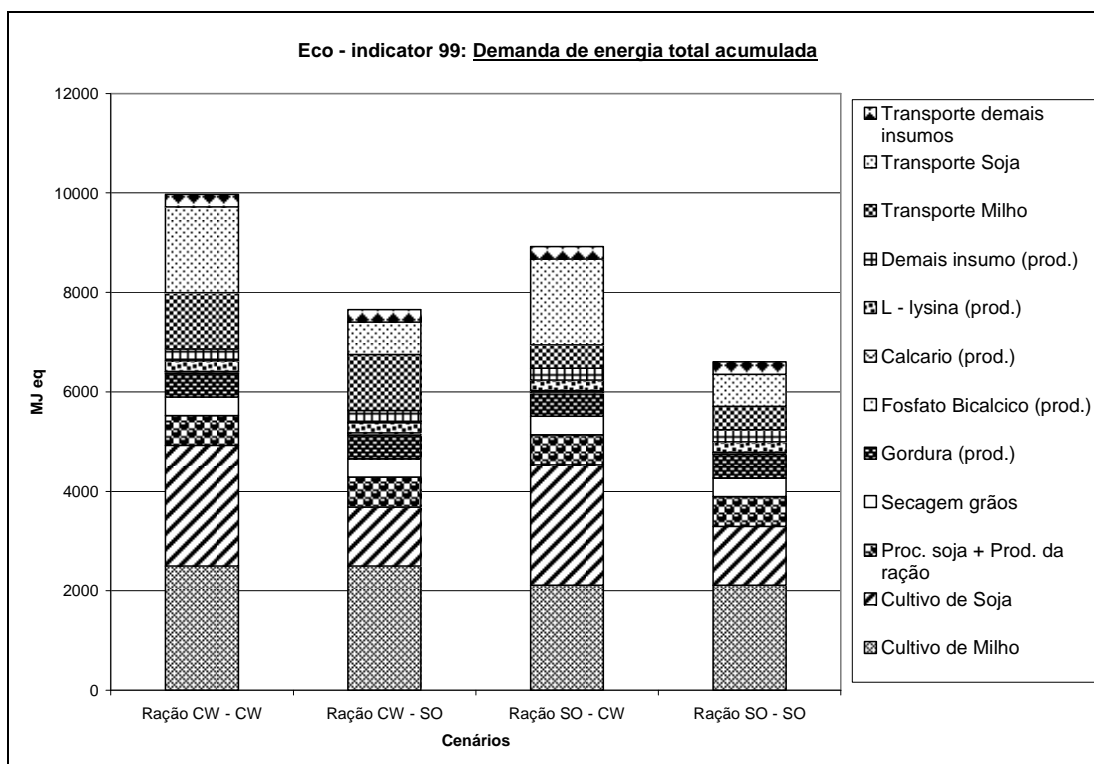


Figura 21: Contribuição dos processos na categoria demanda de energia total acumulada - CML

Nesta categoria de impacto ambiental, os processos de cultivo de milho e soja contribuem com cerca de 50% em todos os cenários. Os transportes, principalmente o da soja da região centro-oeste, também afetam consideravelmente no valor final (Figura 21).

Com exceção do milho da região sul, em que o principal contribuinte é o gás natural (consumido principalmente na produção de uréia), o petróleo consumido nos diversos sub-processos é o principal causador do consumo de demanda de energia total acumulada. No processo de soja do centro-oeste, a madeira retirada (cortada e/ou queimada) pelo desmatamento também contribui bastante com este impacto ambiental.

#### 4.4.3. Pegada Ecológica

Aqui é apresentando o resultado da avaliação do ciclo de vida dos quatro cenários de produção de ração utilizando a Pegada Ecológica como método de AICV.

Como pode ser visto na Figura 22 em todos os cenários, a categoria mais relevante é ‘Agricultura’, com 57% dos impactos para o cenário ração CW - CW, 65% para o cenário

ração CW - SO, 59% para o cenário ração SO - CW e 68% para o cenário ração SO - SO. A categoria 'Energia' é a segunda mais relevante, com 40% dos impactos para o primeiro cenário, 32% para o cenário ração CW - SO, 38% para o cenário ração CW - SO e 29% para o cenário ração SO - SO.

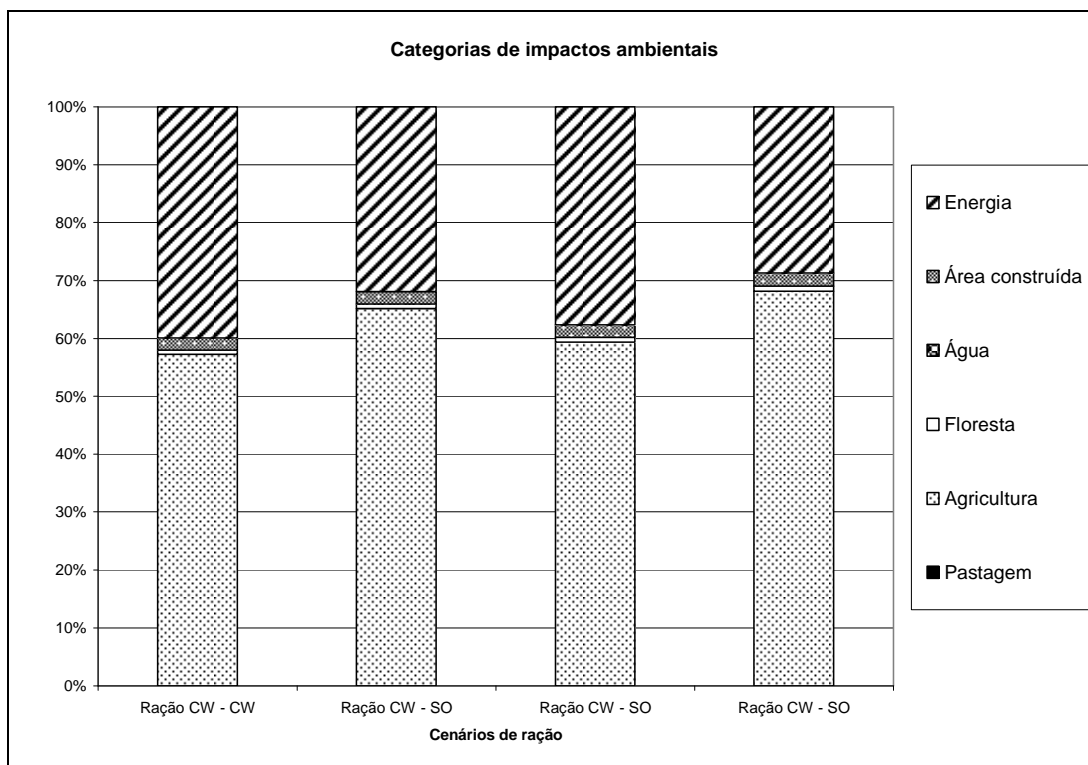


Figura 22: Contribuição relativa das categorias da pegada ecológica em cada cenário

#### ➤ Classificação dos cenários pela área total da pegada ecológica

Avaliando-se a Figura 23, o cenário de ração CW – CW ocupa a maior área, com 4.070,52 m<sup>2</sup>a . O segundo pior é o cenário CW – SO, com 3.764,92 m<sup>2</sup>a, seguido pelo cenário SO – CW, com 3.756,17 m<sup>2</sup>a e, finalmente, o cenário SO-SO, que por este método é o mais ambientalmente amigável, com 3.450,57 m<sup>2</sup>a. Também se pode observar que é visível o predomínio dos processos de cultivo de milho e soja como mais impactantes.

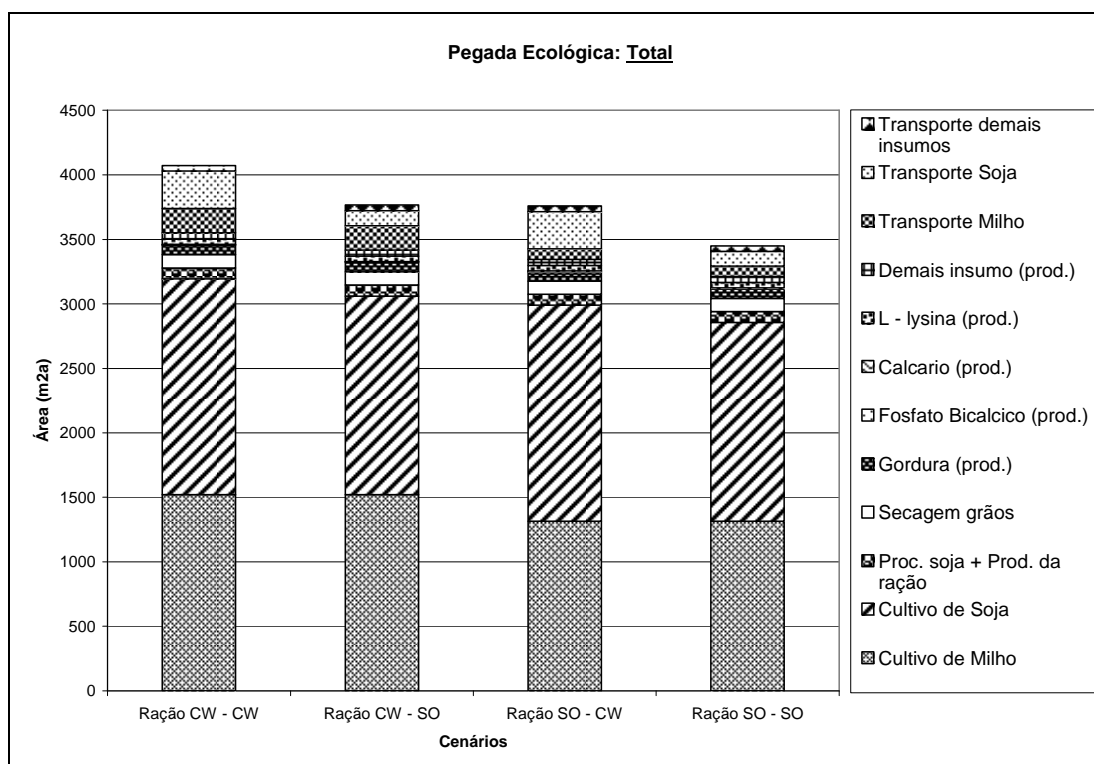


Figura 23: Contribuição dos processos e dos cenários pelo método Pegada Ecológica

A soja do centro-oeste é o processo mais impactante, com um resultado de 1.673,03 m<sup>2</sup>a. Deste valor, 72% é devido à ocupação do solo para agricultura e 25% devido às emissões de CO<sub>2</sub> (de fonte fóssil e devido a transformações do solo).

A soja da região sul é o segundo processo mais impactante, com um resultado 1.539,66 m<sup>2</sup>a. Deste valor, 87% deve-se à ocupação do solo para agricultura e 13% às emissões de CO<sub>2</sub>, de fonte fóssil.

O milho cultivado no centro-oeste é mais impactante que o cultivado na região sul. O primeiro obteve 1.520,53 m<sup>2</sup>a, enquanto que o segundo obteve 1.315,56 m<sup>2</sup>a. Para ambos, a ocupação de solo para agricultura é o principal contribuinte, com 72% e 76% respectivamente. Em seguida são às emissões de CO<sub>2</sub>, com 26% do valor do milho da região centro-oeste (emissões de fonte fóssil e de transformação do solo), e 22% do valor do milho da região sul (sendo que este valor é somente proveniente de fonte fóssil).

➤ Análise da categoria 'Agricultura'

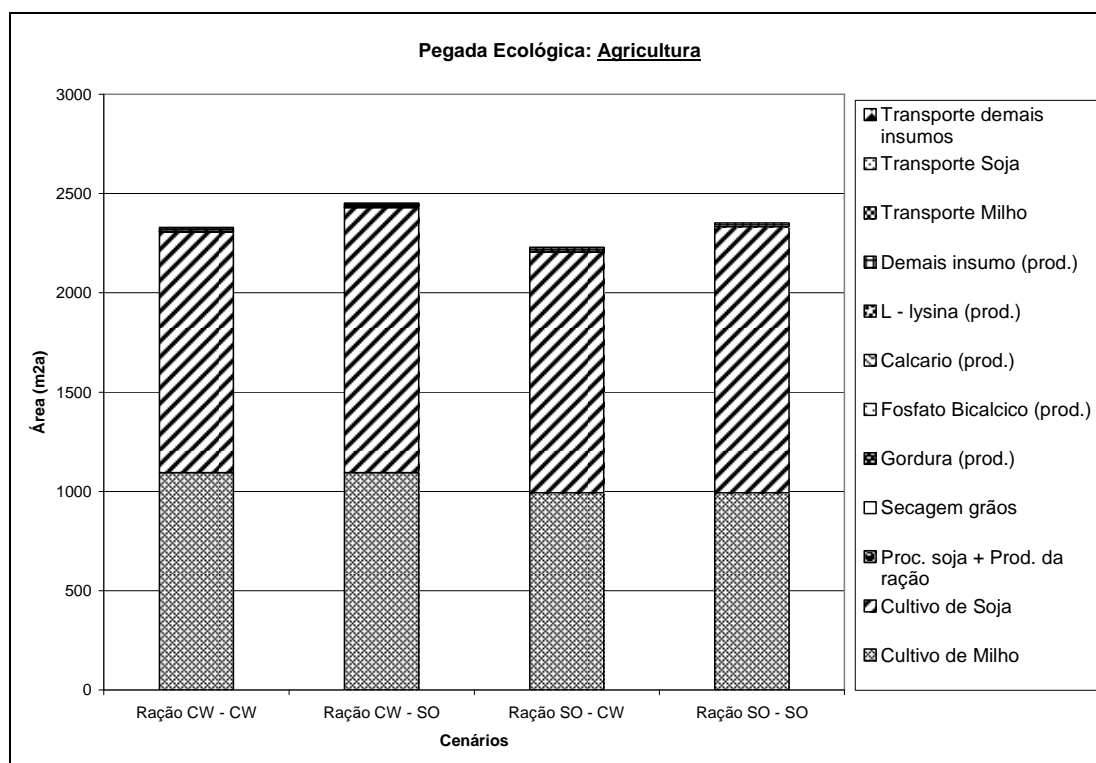


Figura 24: Contribuição dos processos na categoria agricultura - Pegada Ecológica

Na categoria Agricultura, a soja cultivada na região sul foi o processo que obteve maior área, com um valor de 1.335,96 m<sup>2</sup>a, seguido da soja cultivada na região centro-oeste, com 1.213,30 m<sup>2</sup>a. O milho cultivado na região centro-oeste teve um resultado de 1.094,40 m<sup>2</sup>a e o milho cultivado na região sul 994,29 m<sup>2</sup>a. Em todos os processos, pode-se dizer que o único contribuinte tenha sido a ocupação do solo de área agrícola. Os demais processos tiveram um valor insignificante (Figura 24).

➤ Análise da categoria 'Energia'

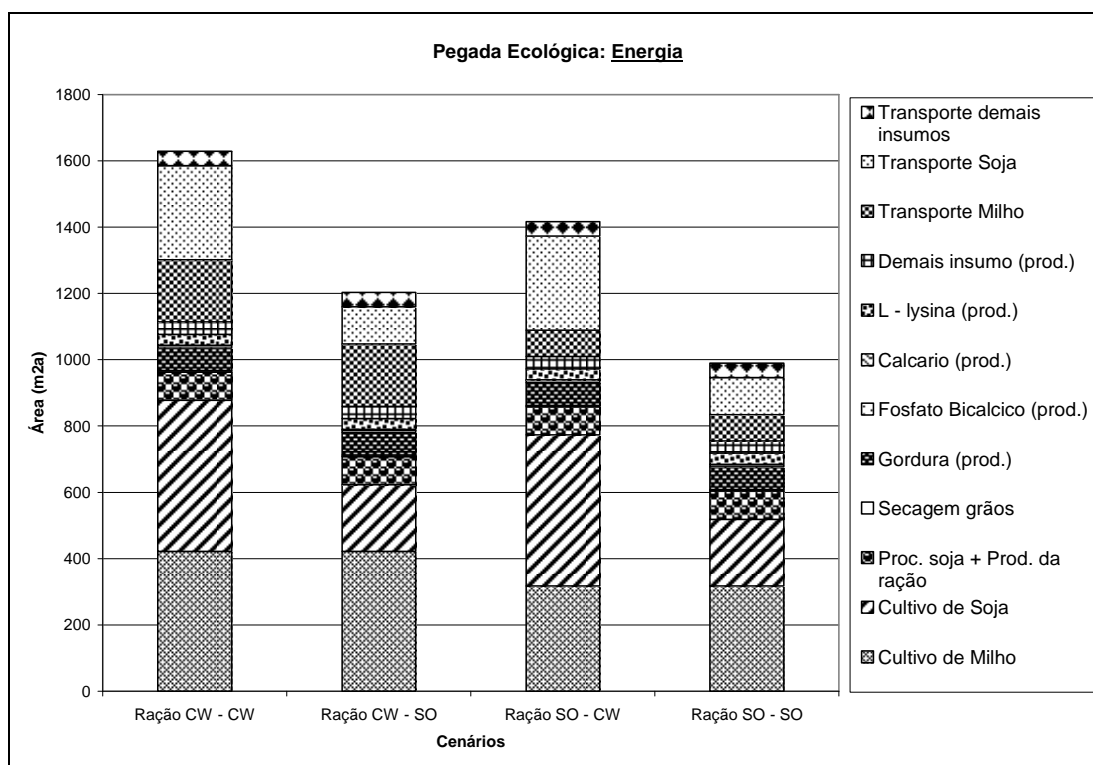


Figura 25: Contribuição dos processos na categoria energia - Pegada Ecológica

Como pode ser observado pela Figura 25, na categoria 'Energia', não houve um processo que se sobressaia perante os outros. Por outro lado, a emissão de CO<sub>2</sub> foi a principal causa nos processos mais relevantes, variando a contribuição entre 88% e 96%.

A soja do centro-oeste obteve o maior valor, com 455,49 m<sup>2</sup>a, seguido pelo milho do centro-oeste, com 421,84 m<sup>2</sup>a, do milho da região sul, com 317,32. A soja da região sul teve 210,03 m<sup>2</sup>a de área. Para a soja e o milho da região centro-oeste, a emissão de CO<sub>2</sub> é devido principalmente ao desmatamento e ao consumo de diesel. Nos grãos cultivados na região sul, o principal processo contribuinte para emissão de CO<sub>2</sub> é o consumo de diesel, já que se considera que o desmatamento não ocorre. Para o cultivo de milho, das duas regiões, a produção de uréia também apresenta grande contribuição na emissão de CO<sub>2</sub>.

Com relação aos processos de transporte, o realizado para levar os grãos de soja da região centro-oeste até Chapecó foi o com maior valor 284,36 m<sup>2</sup>a, sendo 93% devido à emissão de CO<sub>2</sub>. Destes, 55% refere-se ao transporte rodoviário de farelo de soja, 27% do transporte rodoviário de grão seco e 18% do transporte ferroviário de farelo de soja. O transporte de milho da região centro-oeste teve elevada contribuição também, com 187,31 m<sup>2</sup>a, sendo 88%



devido à emissão de CO<sub>2</sub>. Deste valor, 67% deve-se ao transporte rodoviário e 33% ao transporte ferroviário. O transporte da soja da região sul teve um resultado de 112,48 m<sup>2</sup>a de área, sendo que 94% deve-se às emissões de CO<sub>2</sub>. Para este processo, o transporte ferroviário foi o principal contribuinte para emissões de CO<sub>2</sub> (69%), seguido pelo transporte rodoviário de farelo de soja (22%) e de grão seco (8%). O processo de transporte menos impactante foi o de milho da região sul, que obteve 79,32 m<sup>2</sup>a de área. Novamente, a emissão de CO<sub>2</sub> foi o principal contribuinte, com 94%. Destes, 51% deve-se ao transporte rodoviário e 49% ao transporte ferroviário. É visto que o transporte ferroviário teve alta contribuição nas emissões de CO<sub>2</sub> para os grãos da região sul, mas isso se deve a malha ferroviária ser maior nesta região.

O processo chamado de “Processamento da soja e produção da ração”, contribuiu com 85,28 m<sup>2</sup>a para a categoria Energia. Destes, 96% são devido à emissão de CO<sub>2</sub>, que é 60% originado do sub-processo aquecimento por forno a gás natural.

#### **4.4.4. Pegada de Carbono**

Esta parte apresenta os resultados da ACV dos quatro cenários através da Pegada de Carbono. Como comentado por Finkbeiner (2009) para realizar este estudo foi usando o modelo do IPCC como método de AICV. Desta maneira, este é um método que possui somente uma categoria de impacto ambiental, o aquecimento global.

A partir da Figura 26, o cenário de ração CW-CW é o pior, com 739,63 kg de equivalente de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>eq) . O segundo pior é o cenário SO – CW, com 676,63 kg de CO<sub>2</sub>eq, seguido pelo cenário CW – SO, com 575,61 kg de CO<sub>2</sub>eq e, finalmente, o cenário SO-SO, que por este método é o mais ambientalmente amigável, com 512,60 kg de CO<sub>2</sub>eq.

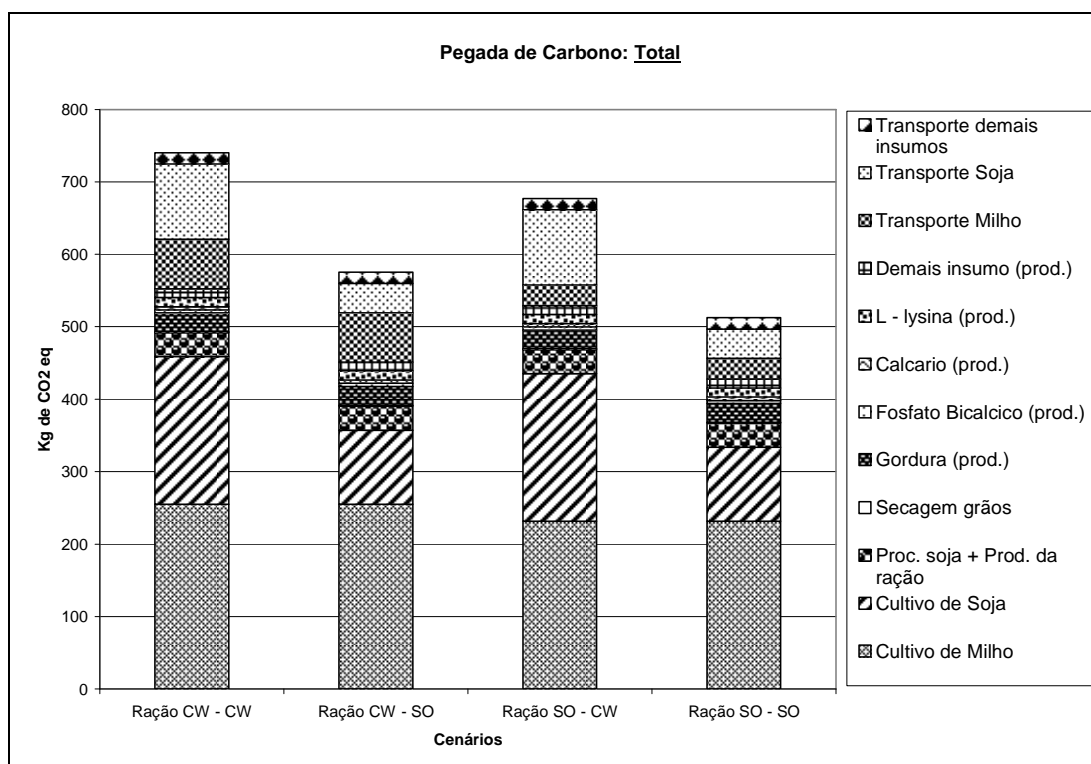


Figura 26: Contribuição dos processos e dos cenários pelo método Pegada de Carbono

Avaliando os processos independentemente dos cenários, o milho cultivado no centro-oeste, com 254,90 kg de CO<sub>2</sub>eq emitidos, é o processo mais impactante. Deste valor, 39% devem-se a emissão de N<sub>2</sub>O, que ocorre devido ao uso de fertilizantes (químicos e orgânicos) e aos processos de degradação de raízes, matéria orgânica, palha e restos de cultura. A emissão de CO<sub>2</sub> contribui com 57% do valor, sendo que este gás é emitido nos subprocessos de desmatamento, da produção de uréia e no próprio processo de cultivo, devido à utilização de diesel.

O milho da região sul é o segundo processo mais impactante, contribuindo com 231,36 kg de CO<sub>2</sub> eq. Desta quantidade, 52% provém da emissão de N<sub>2</sub>O. A emissão de CO<sub>2</sub> contribui com 46% daquele valor, sendo que a emissão deste gás ocorre principalmente na produção da uréia (46%), no consumo do diesel (23%) e na produção do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (13%).

A soja da região centro-oeste contribuiu com 203,58 kg de CO<sub>2</sub> eq. Destes, cerca de 33% é emissão de CO<sub>2</sub> devido ao desmatamento, 17% de N<sub>2</sub>O na etapa de cultivo, 15% pela emissão de CO<sub>2</sub> devido ao consumo de diesel no processo e 10% devido à emissão de CO<sub>2</sub> devido à produção de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

O transporte de soja do centro-oeste contribuiu 103,73 kg de CO<sub>2</sub> eq, que em sua grande maioria (95%) foram emissões de CO<sub>2</sub> nos transportes. 55% das emissões de CO<sub>2</sub> foram geradas no transporte rodoviário de farelo de soja, 27% no transporte rodoviário de grão de soja seco e 18% no transporte ferroviário do farelo de soja.

A soja da região sul emitiu 102,10 kg de CO<sub>2</sub> eq. Deste valor, 33% se deve à emissão de N<sub>2</sub>O no cultivo, 29% à emissão de CO<sub>2</sub> do sub-processo do diesel consumido no cultivo e 14% à emissão do mesmo gás para produzir o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

O transporte de milho da região centro-oeste contribuiu com 68,28 kg de CO<sub>2</sub> eq, sendo que sua grande maioria (96%) foram emissões de CO<sub>2</sub> nos transportes. 67% das emissões de CO<sub>2</sub> são oriundos do transporte rodoviário e 33% do transporte ferroviário.

O transporte de soja da região sul emitiu 40,65 kg de CO<sub>2</sub> eq, que em sua grande maioria (97%) foram emissões de CO<sub>2</sub> nos diversos tipos de transportes. 69% das emissões de CO<sub>2</sub> foram no transporte rodoviário de farelo de soja, 22% no transporte rodoviário de grão de soja seco e 9% no transporte ferroviário do farelo de soja.

A etapa de processamento da soja e produção da ração lançou 31,91 kg de CO<sub>2</sub> eq. Destes 91% foi emissão de CO<sub>2</sub> devido a diversos sub-processos, sendo o principal o aquecimento através de forno a gás natural (60%).

O transporte de milho da região sul contribuiu com 28,81 kg de CO<sub>2</sub> eq, sendo que sua grande maioria (97%) foram emissões de CO<sub>2</sub> nos transportes. Destes, 51% foram devido às emissões de CO<sub>2</sub> no transporte rodoviário de grão de milho seco e 49% no transporte ferroviário.

#### **4.4.5. Hotspots encontrados**

Pelo método Eco-indicator 99 é possível dizer que a ocupação e transformação do solo pelos cultivos de milho e de soja são os aspectos ambientais mais significativos (impactos na categoria Uso do solo). O método CML (modificado) também aponta que são nos processos de cultivo de milho e soja onde há os impactos mais significativos, no entanto não é possível apontar para somente um aspecto ambiental, como no método anterior. Nesse método o lançamento de fosfato e nitrato na água, a emissão de amônia e óxido dinitrogênio, o

desmatamento e o lançamento de vanádio, barita e níquel são os principais causadores de impacto ambiental. Para a Pegada Ecológica, os *hotspots* encontrados são a ocupação de solo pela agricultura, nas etapas de cultivo de milho e soja, e a emissão de CO<sub>2</sub> nos diversos processos. Para a Pegada de Carbono o principal aspecto ambiental é a emissão de CO<sub>2</sub> no cultivo de milho e soja (devido ao desmatamento, produção de uréia e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e uso de diesel) e nos transportes e a emissão de N<sub>2</sub>O nos cultivos de milho e soja (devido ao uso de fertilizantes e decomposição de matéria orgânica).

Como se pôde observar com a informação acima, foram encontrados *hotspots* diferentes para os quatro métodos de AICV, ilustrando inicialmente que os métodos podem conduzir a resultados distintos.

#### **4.4.6. Comparação dos resultados de pontuação única dos métodos de AICV**

Realizou-se uma análise comparativa dos resultados finais obtidos pelos quatro métodos de AICV.

Pode ser observado pela Figura 27 que, com exceção da Pegada Ecológica, os resultados relativos entre os métodos foram parecidos, mantendo-se as classificações. (Tabela 15 e Tabela 16). Também é visível que os métodos Eco-indicator 99 e Pegada de Carbono possuem valores mais dispersos, enquanto que no método CML (modificado) os valores dos cenários CW – CW e SO – CW são bastante próximos, assim como dos cenários CW – SO e SO – SO.

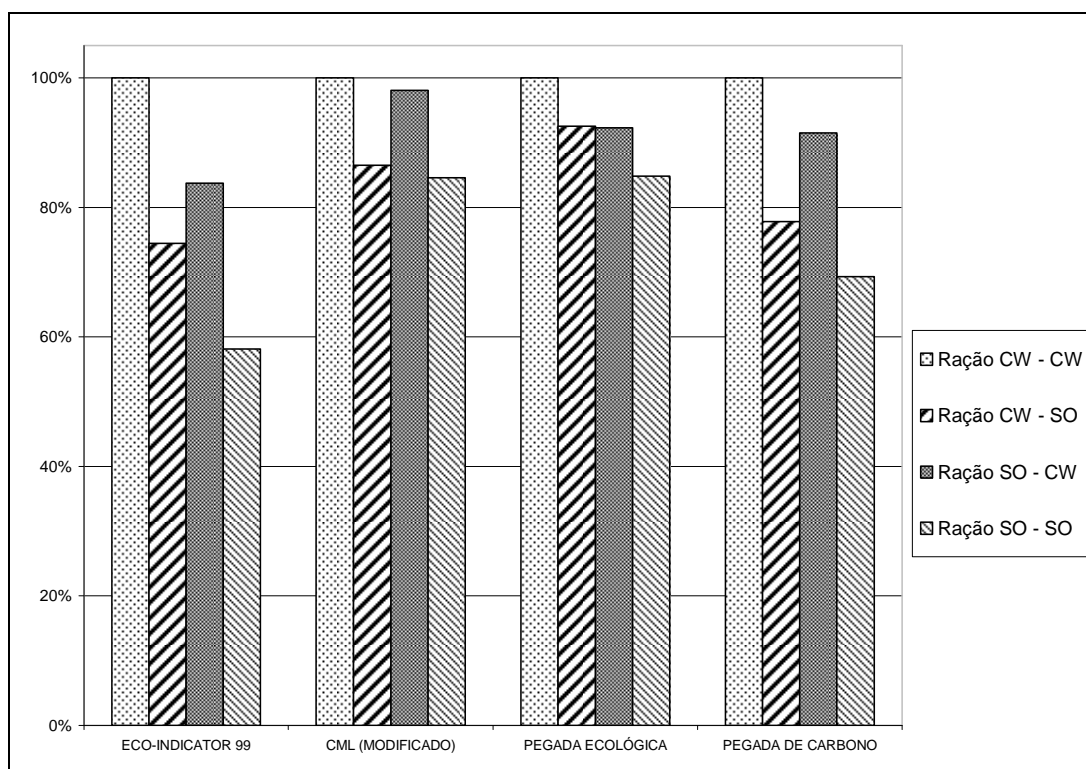


Figura 27: Comparação entre os métodos de AICV para a pontuação única

Tabela 15: Valor de pontuação única dos quatro cenários

Valor em pontuação única	Ração CW – CW	Ração CW – SO	Ração SO – CW	Ração SO – SO
Eco-indicator 99 (pt)	286,31	213,07	239,69	166,45
CML (modificado) (pt*)	305,97	264,69	300,02	258,74
Pegada Ecológica (m <sup>2</sup> a)	4.070,52	3.764,92	3.756,17	3.450,57
Pegada de Carbono (kg-CO <sub>2</sub> eq.)	739,63	575,61	676,63	512,60

Tabela 16: Classificação dos cenários

Classificação dos cenários	Ração CW – CW	Ração CW – SO	Ração SO – CW	Ração SO – SO
Eco-indicator 99 (Pt)	4º	2º	3º	1º
CML (modificado) (Pt*)	4º	2º	3º	1º
Pegada Ecológica (m <sup>2</sup> a)	4º	3º	2º	1º
Pegada de Carbono (kg-CO <sub>2</sub> eq.)	4º	2º	3º	1º

Vale lembrar que o cenário que apresenta menor pontuação para os quatro métodos apresenta menor impacto ambiental, portanto, é mais bem classificado. A classificação acima foi feita sem considerar a análise de incerteza. Posteriormente neste trabalho será apresentada a classificação final, considerando tal análise.

Avaliando-se esses valores finais em pontuação única, da Tabela 15, pode-se criar uma equivalência entre os métodos de AICV, gerando-se os valores apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Equivalência entre os resultados finais dos métodos de AICV

Equivalência entre os métodos de AICV	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO	Média
CML (modificado) / Eco-indicator 99 (pt* / pt)	1,1	1,2	1,3	1,6	1,3
Pegada Ecológica / Eco-indicator 99 (m <sup>2</sup> a / pt)	14,2	17,7	15,7	20,7	17,1
Pegada de Carbono / Eco-indicator 99 (kg-CO <sub>2</sub> eq. / pt)	2,6	2,7	2,8	3,1	2,8
Pegada Ecológica / CML (modificado) (m <sup>2</sup> a / pt*)	13,3	14,2	12,5	13,3	13,3
Pegada de Carbono / CML (modificado) (kg-CO <sub>2</sub> eq. / pt*)	2,4	2,2	2,3	2,0	2,2
Pegada de Carbono / Pegada Ecológica (m <sup>2</sup> a / kg-CO <sub>2</sub> eq.)	5,5	6,5	5,6	6,7	6,1

A relação entre os métodos Eco-indicator 99 e CML (modificado) ficou em torno de 1,3 pt\* / pt. Entre o Eco-indicator 99 e a Pegada Ecológica a relação foi em torno de 17,1 m<sup>2</sup>a / pt. Para os métodos Eco-indicator 99 e Pegada de Carbono o valor médio foi de 2,8 kg-CO<sub>2</sub>eq. / pt. A relação média entre o CML (modificado) e a Pegada Ecológica foi de 13,3 m<sup>2</sup>a / pt\*. Já para os métodos CML (modificado) e Pegada de Carbono, a relação média foi de 2,2 kg-CO<sub>2</sub>eq. / pt\*. Finalmente, para os métodos Pegada Ecológica e Pegada de Carbono, o valor médio foi de 6,1 m<sup>2</sup>a / kg-CO<sub>2</sub>eq.

Huijbregts et. al. (2008) realizou um estudo comparado os métodos Pegada Ecológica e Eco-indicator 99, a partir de processos do banco de dados *Ecoinvent*. Para produtos agrícolas, o autor obteve uma relação aproximadamente igual a 21 m<sup>2</sup>a / pt, resultado que endossa o valor médio obtido na relação entre os métodos Eco-indicator 99 e Pegada Ecológica deste estudo (17,1 m<sup>2</sup>a / pt).

#### 4.4.7. Comparação entre categorias de impacto equivalentes

Fez-se uma comparação dos resultados obtidos entre categorias de impacto ambiental equivalentes para diferentes métodos de AICV. Para isso foram feitas normalizações internas. Para alguns casos houve categorias de impacto ambiental iguais, mas para outros se buscaram categorias equivalentes ou parecidas.

➤ Aquecimento global

Esta categoria de impacto ambiental aparece nos quatro métodos de AICV, sejam por este nome ou por um outro análogo. No método ‘Pegada de Carbono’, o aquecimento global é o método em si. Para o método ‘CML (modificado)’, o aquecimento global responde pela categoria de mesmo nome. No método ‘Eco-indicator 99’ considera-se que o aquecimento global é equivalente à categoria ‘Mudanças climáticas’. Já para o método ‘Pegada Ecológica’, considerou-se neste estudo que o aquecimento global equivale à categoria ‘Energia’.

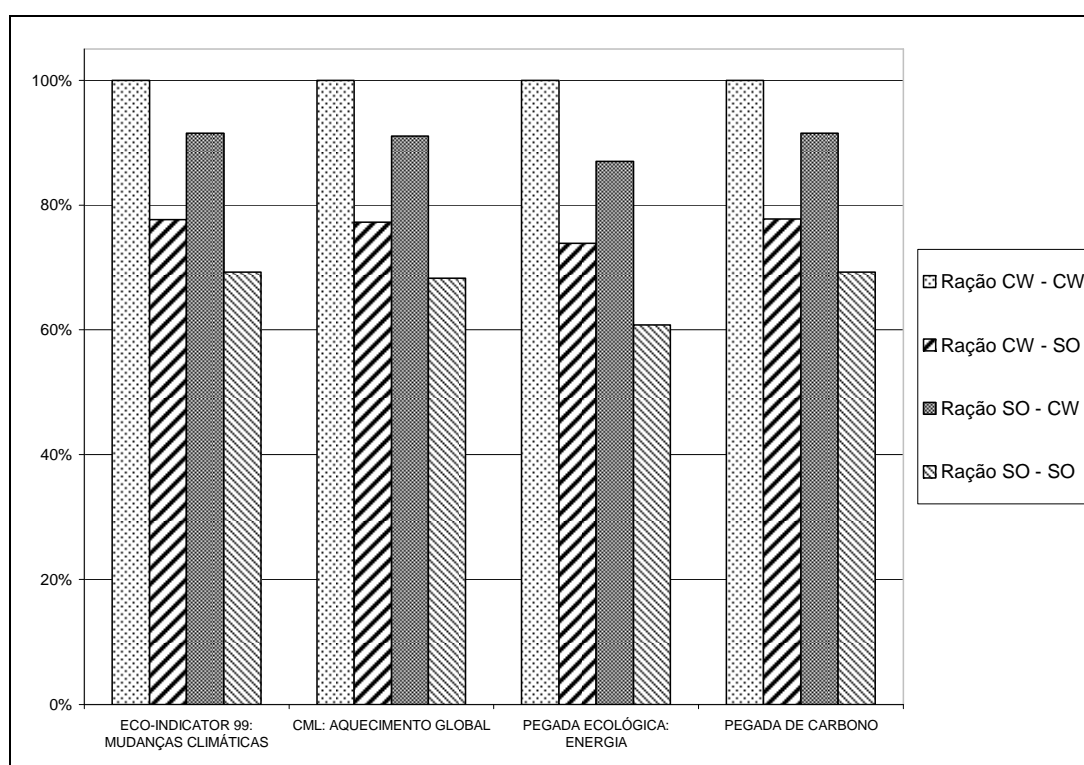


Figura 28: Comparação entre os métodos de AICV para o aquecimento global

A Figura 28 mostra um gráfico com os valores obtidos nas categorias de impacto ambiental citados no parágrafo anterior, porém, para que estes pudessem ser comparados, foram normalizados em função do maior valor obtido. Para todos os métodos, a classificação é mantida, com o cenário CW – CW sendo o pior, seguido do cenário SO – CW, depois o cenário SO – CW e finalmente o cenário SO – SO. É possível observar maior variação no método ‘Pegada Ecológica’, onde os cenários SO – CW, CW – SO e SO – SO apresentam valores abaixo dos mesmos nos demais métodos, como pode ser observado na Tabela 18. Isso se deve ao modelo de caracterização utilizado, já que na Pegada Ecológica, o único gás de efeito estufa considerado é o CO<sub>2</sub>. Nos demais métodos, a semelhança é mantida uma vez que

usam o mesmo modelo de caracterização (modelo do IPCC). Pequenas variações podem ser observadas entre estes três métodos devido a modificações feitas no modelo. No caso do CML (modificado), o modelo é baseado no IPCC 2001 GWP 100a, com alteração dos fatores de equivalência do Metano e do Óxido dinitrogênio, para 25 e 298 respectivamente. Enquanto isso, a Pegada de Carbono utiliza o modelo IPCC 2007 GWP 100a. Já para o método Eco-indicator 99, de acordo com Goedkoop e Spriensma (2001), foi utilizado como base os fatores de equivalência do modelo IPCC 2001 GWP 100a, porém adaptou-os para um horizonte de 200 anos e transformou-os em unidades DALY (através de modelagem e adaptações de estudos que relacionavam aquecimento global e aumento de mortalidade). Essas pequenas diferenças entre os modelos não foram suficientes para afetar o resultado final entre os cenários.

Tabela 18: Valores normalizados de aquecimento global nos quatro métodos de AICV

	Eco-indicator 99	CML (modificado)	Pegada Ecológica	Pegada de Carbono
Ração CW - CW	100%	100%	100%	100%
Ração CW - SO	78%	77%	74%	78%
Ração SO - CW	92%	91%	87%	91%
Ração SO - SO	69%	68%	61%	69%

➤ Ocupação de solo

Para esta categoria de impacto ambiental excluiu-se da análise a Pegada de Carbono, já que este método avalia somente o aquecimento global. Para o método Eco-indicator 99 utilizou-se a categoria 'Uso do solo'; para o método CML (modificado) foi utilizada a categoria 'Ocupação do solo'; e finalmente para a Pegada Ecológica utilizou-se a soma dos resultados obtidos nas categorias 'Agricultura', 'Floresta' e 'Área construída' (não foram consideradas as categorias 'Pastagem' e 'Água' por terem valores muito baixos).



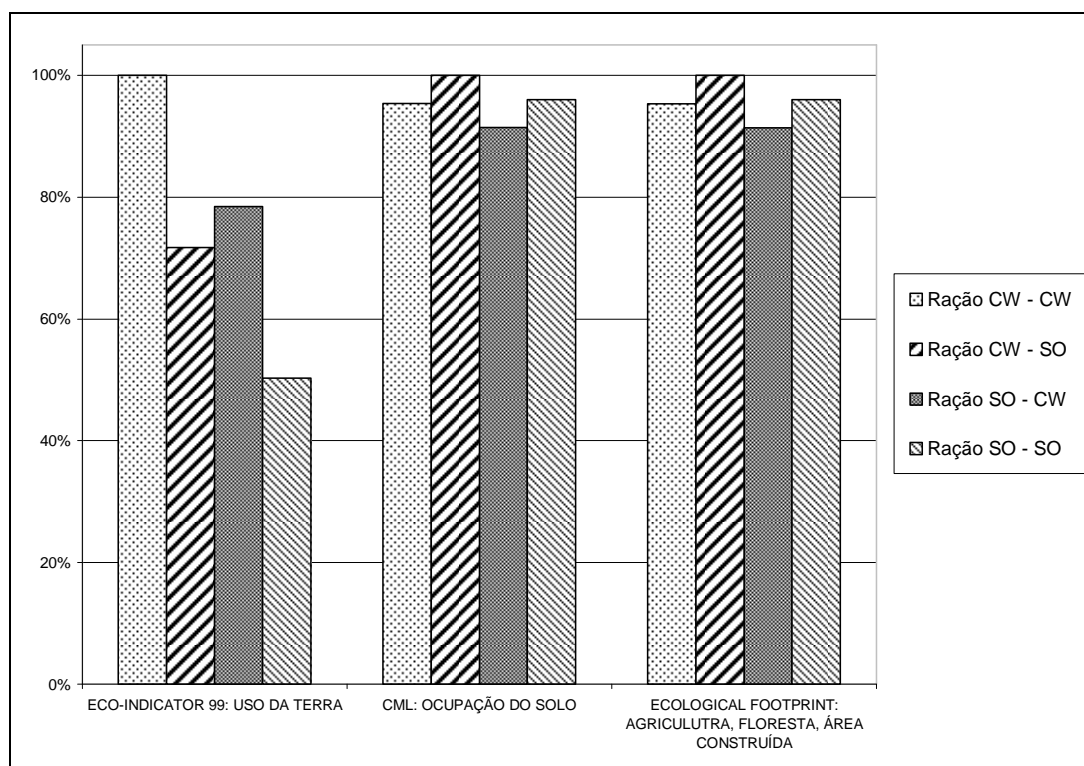


Figura 29: Comparação entre os métodos de AICV para o uso de solo

A Figura 29 mostra um gráfico com os valores normalizados das categorias de impacto ambiental relacionadas ao uso de solo. Para os métodos CML (modificado) e Pegada Ecológica a classificação é mantida, com o cenário CW – SO sendo o pior (100%), seguido do cenário SO – SO (96%), depois o cenário CW – CW (95%) e finalmente o cenário SO – CW (91%). Já para o Eco-indicator 99 a classificação é diferente, com CW – CW sendo o pior cenário (100%), seguido pelo cenário SO – CW (78%), depois o cenário CW – SO (72%) e o cenário SO – SO como o com menor uso de solo (50%). Isso se deve novamente ao modelo de caracterização utilizado pelos métodos. O CML (modificado) e a Pegada Ecológica utilizam modelos que caracterizam somente as ocupações do solo, enquanto que o Eco-indicator 99 utiliza um modelo que caracteriza tanto as ocupações quanto as transformações ocorridas no solo. Por esse motivo há a variação da classificação dos cenários e aumento da diferença entre seus valores, dando uma pontuação maior para os cenários que utilizam grãos do centro-oeste, que é a região que ocorreu maiores transformações no solo.

### ➤ Acidificação e Eutrofização

A acidificação e a eutrofização são avaliadas somente nos métodos Eco-indicator 99 e CML (modificado), já que a Pegada Ecológica e a Pegada de Carbono não possuem categorias para avaliar tal impacto. No primeiro, avalia-se por uma categoria de impacto chamada ‘Acidificação/Eutrofização’ e no segundo método avalia-se por duas categorias separadas.

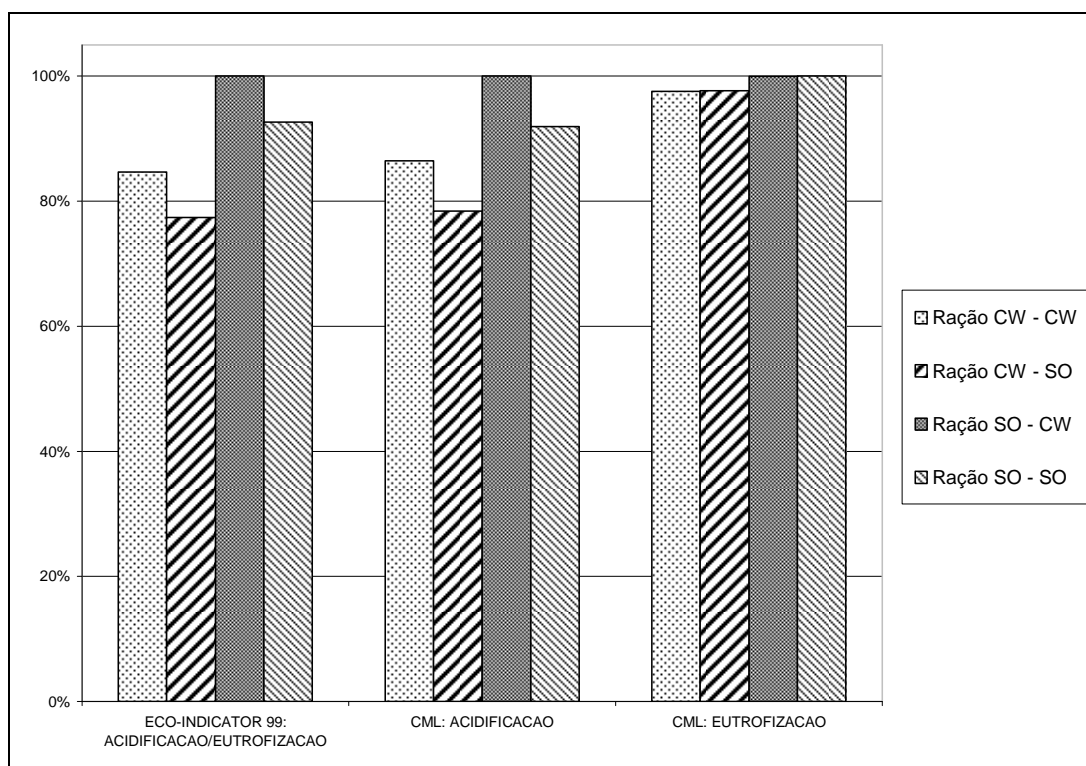


Figura 30: Comparação entre os métodos de AICV para a acidificação e eutrofização

Como pode ser observado pela Figura 30 o gráfico do método Eco-indicator 99 se assemelha mais ao da categoria de impacto ‘Acidificação’ do que à da ‘Eutrofização’, do método CML (modificado).

Como pode ser observado pela Tabela 19, no método Eco-indicator 99 a categoria referente à acidificação e eutrofização fornece o maior valor de fator de caracterização à Amônia, o Nitrato e os Óxidos de nitrogênio possuem valor aproximadamente três vezes menor e não há fator de caracterização para o fosfato. A categoria ‘Acidificação’ do método CML (modificado) também coloca a Amônia com maior valor de fator de caracterização, não há valores para Nitrato e Fosfato (por não causarem tal impacto) e os Óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) tem fator de caracterização aproximadamente três vezes menor. Já na categoria ‘Eutrofização’

do método CML (modificado), a Amônia possui um fator de caracterização intermediário, sendo o Fosfato com maior fator de caracterização (1,0) e o Nitrato e os Óxidos de nitrogênio com valores menores.

Tabela 19: Fatores de caracterização referentes à acidificação e a eutrofização

Substância	Fator de caracterização	Eco-indicator 99: Acidif./ Eutrofização (PDF*m <sup>2</sup> ano / kg)	CML (modificado): Acidificação (kg de SO <sub>2</sub> eq / kg)	CML (modificado): Eutrofização (kg de PO <sub>4</sub> eq / kg)
Fosfato (PO <sub>4</sub> )		0,00	0,00	1,00
Amônia (NH <sub>3</sub> )		15,57	1,60	0,35
Nitrato (NO <sub>3</sub> )		5,71	0,00	0,10
Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )		5,71	0,50	0,13

Portanto, analisando-se a Tabela 19 e a Figura 30 pode-se notar que a categoria proposta pelo Eco-indicator 99 tende a relacionar mais com o impacto de acidificação que eutrofização, principalmente por não incluir o fosfato. Deve-se dizer também que essa constatação é mais explícita neste estudo devido à alta emissão de amônia nos cenários.

#### ➤ Ecotoxicidade

A ecotoxicidade é avaliada somente nos métodos Eco-indicator 99 e CML (modificado), já que a Pegada Ecológica e a Pegada de Carbono não possuem categorias para avaliar tal impacto. Para o primeiro método, o nome da categoria é 'Ecotoxicidade'. No CML (modificado) há uma divisão deste impacto em três categorias: 'Ecotoxicidade em água doce', 'Ecotoxicidade marinha' e 'Ecotoxicidade terrestre'. Para poder comparar os dois métodos em relação a esse impacto e como as três categorias do método CML (modificado) possuem a mesma unidade (kg 1,4-DB eq), somou-se as três criando-se uma única chamada 'Ecotoxicidade (somatório)'. Acrescentou-se à análise, a categoria 'Ecotoxicidade marinha' do método CML (modificado), devido à sua importância demonstrada na Figura 13.

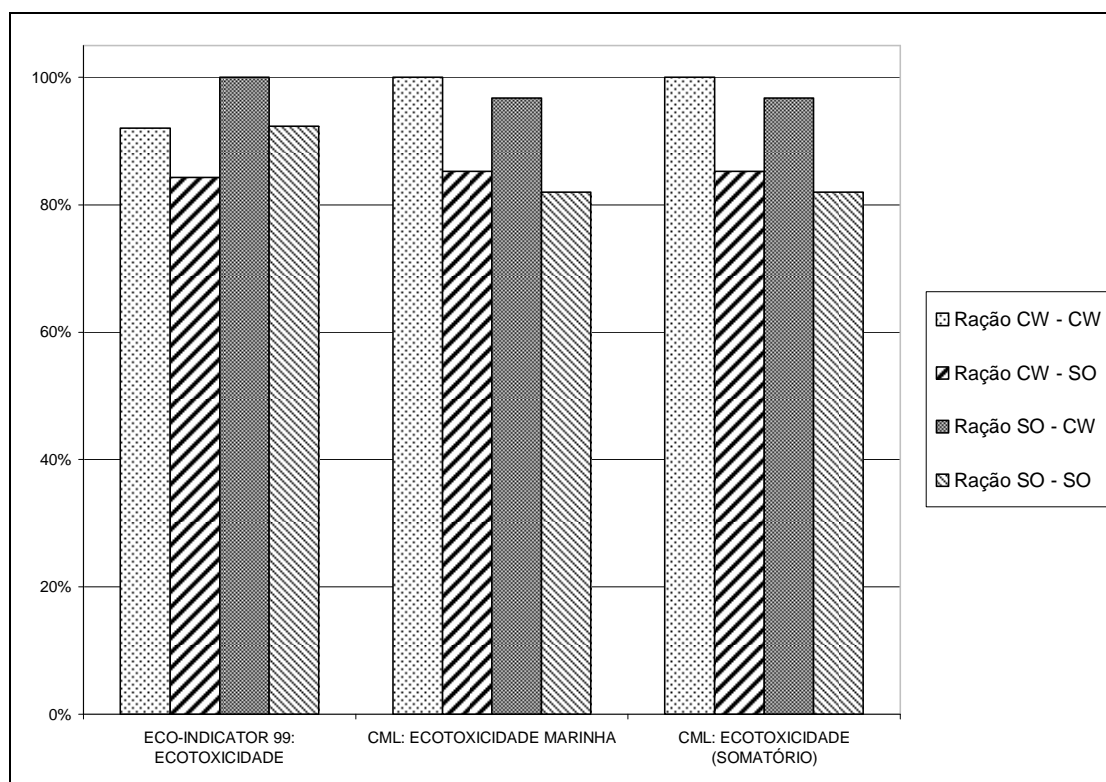


Figura 31: Comparação entre os métodos de AICV para a ecotoxicidade

Primeiramente, pela Figura 31, pode ser observado que os dois gráficos de ecotoxicidade do CML (modificado) apresentam resultados idênticos. Isso reforça a idéia que a ecotoxicidade marinha apresenta resultados muito mais significativos que as outras formas de ecotoxicidade. Por outro lado, é visível a diferença entre a ecotoxicidade do método Eco-indicator 99 com a do método CML (modificado), uma vez que a classificação dos cenários muda completamente (Tabela 20).

Tabela 20: Classificação dos cenários para ecotoxicidade

Classificação pela Ecotoxicidade	Ração CW – CW	Ração CW - SO	Ração SO – CW	Ração SO - SO
Eco-indicator 99	2º	1º	4º	3º
CML (modificado)	4º	2º	3º	1º

A ecotoxicidade do método Eco-indicator 99 é caracterizada quase que toda (entorno de 90% da pontuação nos processos mais impactantes) pelo lançamento de metais no solo (Zinco, Níquel, Cádmio, Cromo, Cobre e Chumbo) na etapa de cultivo. Por outro lado, a ecotoxicidade do método CML (modificado) é caracterizada principalmente pelas emissões aéreas de Vanádio (na produção da uréia), e aquáticas de Barita (produção de uréia e consumo

de diesel) e íon de Níquel (produção de  $P_2O_5$  e consumo de diesel). Essa diferença deve-se ao uso de diferentes modelos de caracterização.

Tabela 21: Fatores de caracterização de ecotoxicidade e ecotoxicidade marinha

Substância	Local	Fator de caracterização		Fator de caracterização normalizado <sup>14</sup>	
		Eco-indicator 99: Ecotoxicidade (PAF*m <sup>2</sup> ano/kg)	CML (modificado): Ecotoxicidade marinha (kg 1,4- DB eq/kg)	Eco-indicator 99: Ecotoxicidade	CML (modificado): Ecotoxicidade marinha
Cádmio	Solo	99.400	112.000	0,04756	0,00017
Cromo	Solo	42.400	654	0,02029	0,00000
Cobre	Solo	15.000	120.000	0,00718	0,00019
Chumbo	Solo	129	753	0,00006	0,00000
Níquel	Solo	73.200	1.170.000	0,03502	0,00182
Zinco	Solo	29.800	7.210	0,01426	0,00001
Barita	Água	0,0	490.000	0,00000	0,00076
Níquel (íon)	Água	1.430	2.250.000	0,00068	0,00350
Vanádio	Ar	0,0	12.200.000	0,00000	0,01897
Maior valor <sup>15</sup>	-	2.090.000	643.000.000	1,00000	1,00000

Na Tabela 21 estão apresentados os valores usados como fatores de caracterização nos modelos de Ecotoxicidade do Eco-indicator 99 e Ecotoxicidade marinha do método CML (modificado). Além disso, também estão apresentados os valores normalizados em função do maior valor existente em cada modelo. Com isso, é possível visualizar a causa das alterações citadas no parágrafo anterior. Primeiramente o modelo usado no Eco-indicator 99 não considera o impacto ambiental das substâncias Barita e Vanádio. Além disso, os valores do Cádmio, Cromo, Níquel e Zinco, dentre as substâncias apresentadas, são as que possuem maiores valores relativos. O Cobre apresenta valor intermediário e, finalmente, o Chumbo e o íon de Níquel os menores valores. Já o modelo usado pelo CML (modificado) considera os impactos causados pelo Vanádio e pela Barita, sendo que o primeiro é o que apresenta maior valor relativo. A Barita, o Níquel e o íon de Níquel apresentam valores intermediários e as demais substâncias os menores valores.

<sup>14</sup> Normalização interna.

<sup>15</sup> Para o modelo usado no Eco-indicator, o maior valor de fator de caracterização é da emissão de dioxinas no solo, já para o modelo usado no CML, o maior valor é do berílio na água.

## 4.5. ANÁLISE DE INCERTEZA DOS CENÁRIOS EM ESTUDO

Enviou-se um questionário (Apêndice B), para um painel de especialistas, composto pelo quadro técnico da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). O objetivo de questionário era compor um cenário de incertezas sobre os valores dos dados que fazem parte do inventário dos sistemas de cultivo de milho e soja. Tal questionário procura fornecer um valor de desvio padrão para cada dado, conforme metodologia sugerida por Frischknecht et. al. (2007). No entanto foi recebida somente uma resposta, a qual foi utilizada no estudo. A partir desses dados, e dos já existentes no banco de dados *Ecoinvent* (para as outras etapas), aplicou-se uma análise de Monte Carlo nos quatro cenários de fabricação de ração, pelos quatro métodos de AICV aqui estudados, gerando dezesseis resultados. Foram realizados 10.000 iterações e o coeficiente de confiança adotado foi de 95%.

Tabela 22: Resultado da análise de incerteza na ACV de diferentes cenários de produção de ração de aves para quatro diferentes métodos de AICV

Método	Cenário	Média	Mediana	Desvio-padrão	Coeficiente de Variação	2,5%	97,5%
EI-99 (Pt)	CW - CW	290	290	426	147%	-542	1.120
EI-99 (Pt)	CW - SO	206	209	444	216%	-686	1.060
EI-99 (Pt)	SO - CW	244	245	402	165%	-562	1.030
EI-99 (Pt)	SO - SO	175	175	422	242%	-654	999
CML (Pt*)	CW - CW	308	299	48	16%	246	425
CML (Pt*)	CW - SO	267	259	42	16%	213	371
CML (Pt*)	SO - CW	301	293	44	15%	241	411
CML (Pt*)	SO - SO	261	253	40	15%	207	358
PE (m <sup>2</sup> a)	CW - CW	4.080	4.060	308	8%	3.530	4.740
PE (m <sup>2</sup> a)	CW - SO	3.770	3.750	308	8%	3.220	4.420
PE (m <sup>2</sup> a)	SO - CW	3.770	3.750	294	8%	3.240	4.400
PE (m <sup>2</sup> a)	SO - SO	3.460	3.440	295	9%	2.940	4.090
PC (kg CO <sub>2</sub> eq)	CW - CW	744	741	46	6%	662	844
PC (kg CO <sub>2</sub> eq)	CW - SO	579	578	30	5%	524	642
PC (kg CO <sub>2</sub> eq)	SO - CW	679	677	40	6%	607	766
PC (kg CO <sub>2</sub> eq)	SO - SO	514	513	26	5%	467	568

Nota: Métodos: EI-99 (Pt): Ecoindicator 99 com pontuação única;  
CML (Pt\*): CML (modificado), em pontuação única;  
PE (m<sup>2</sup>a): Pegada Ecológica em m<sup>2</sup>a;  
PC (kg CO<sub>2</sub>eq): Pegada de Carbono em quilos de CO<sub>2</sub> equivalente;

Cenários: CW – CW: Ração composta de diversos ingredientes, com milho e soja da região Centro-oeste;  
CW – SO: Ração composta de diversos ingredientes, com milho da região Centro-oeste e soja da região Sul;  
SO – CW: Ração composta de diversos ingredientes, com milho da região Sul e soja da região Centro-oeste;  
SO – SO: Ração composta de diversos ingredientes, com milho e soja da região Sul;

Avaliando os resultados da Tabela 22, é visível que o coeficiente de variação dos cenários do método Eco-indicator 99 são bastante elevados quando comparados com os de outros métodos. Isso se deve ao modelo usado para caracterizar o Uso do solo. Nessa categoria de

impacto, o item ‘Transformações’ (refere-se à transformações de uso do solo necessárias para realização de um determinado processo) é avaliado como impacto positivo quando a transformação ocorre no sentido de tornar um uso menos impactante ao ambiente em mais impactante; e negativo quando no sentido inverso. Portanto, ao realizar as análises de incertezas, houve algumas iterações que simularam uma situação com impactos negativos muito altos e outras com impactos positivos muito altos e, como visto na Figura 5, essa categoria de impacto é a que mais influencia no resultado final do Eco-indicator 99.

Construíram-se gráficos para facilitar a visualização dos resultados da análise de incerteza. Nas Figura 32, Figura 33, Figura 34 e Figura 35 cada cenário possui um valor médio, que é a pontuação média da Tabela 22, um valor mínimo e um valor máximo, que são os valores de 2,5% e 97,5% da mesma tabela, respectivamente. As linhas pontilhadas percorrem os valores máximos dos cenários de melhor desempenho ambiental, ou seja, a pior situação do melhor cenário. As linhas tracejadas percorrem os valores mínimos dos cenários de pior desempenho ambiental, ou seja, a melhor situação do pior cenário. O número de cenários que tiveram valores abaixo da linha pontilhada é igual à quantidade de piores cenários possíveis e o número de cenários que possuem valores acima da linha tracejada é igual à quantidade de cenários possíveis com melhor desempenho ambiental.

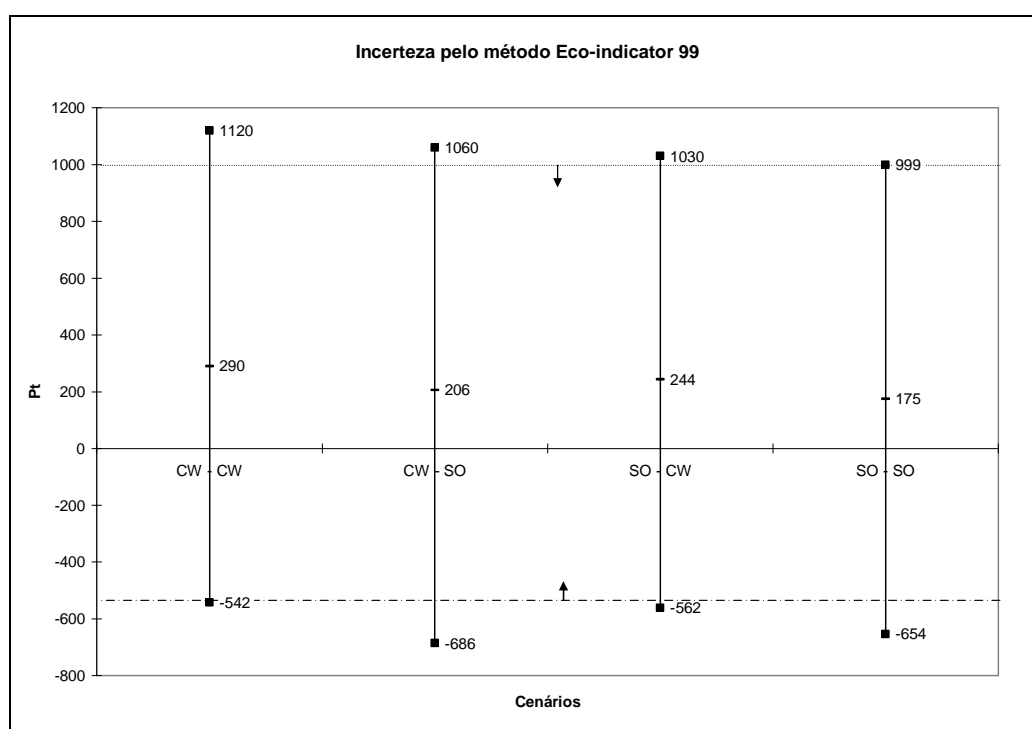


Figura 32: Valores da análise de incerteza pelo método Eco-indicator 99 para quatro diferentes cenários de produção de ração

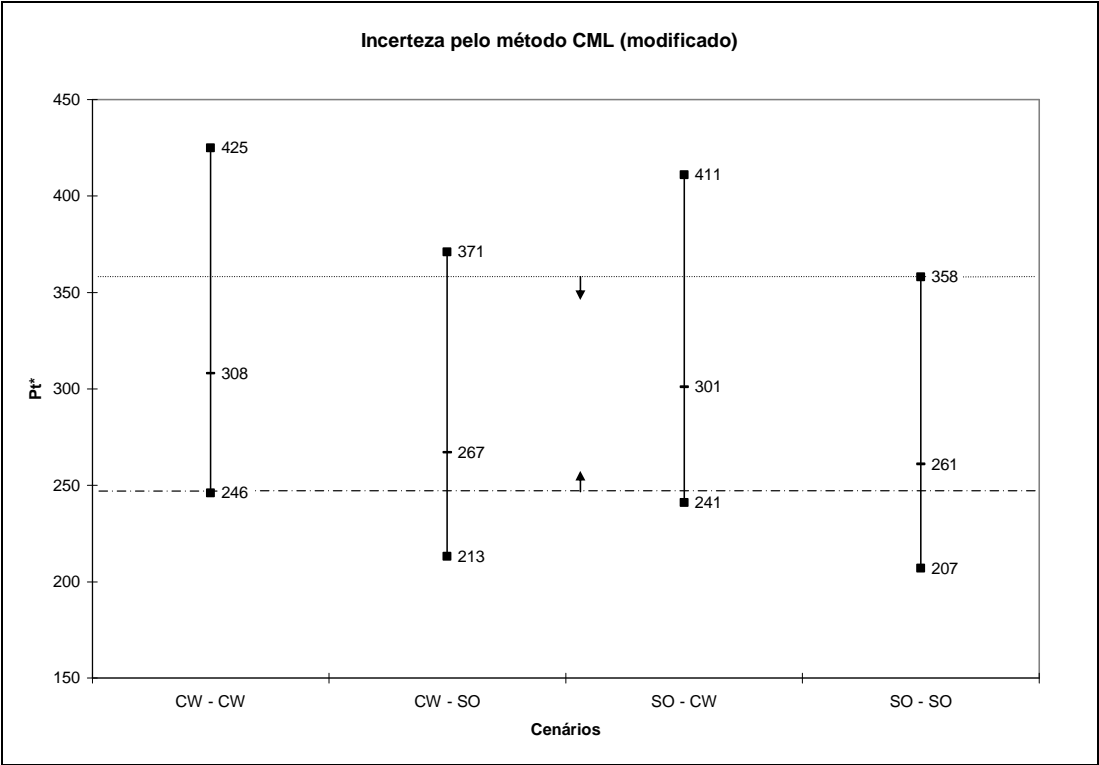


Figura 33: Valores da análise de incerteza pelo método CML (modificado) para quatro diferentes cenários de produção de ração

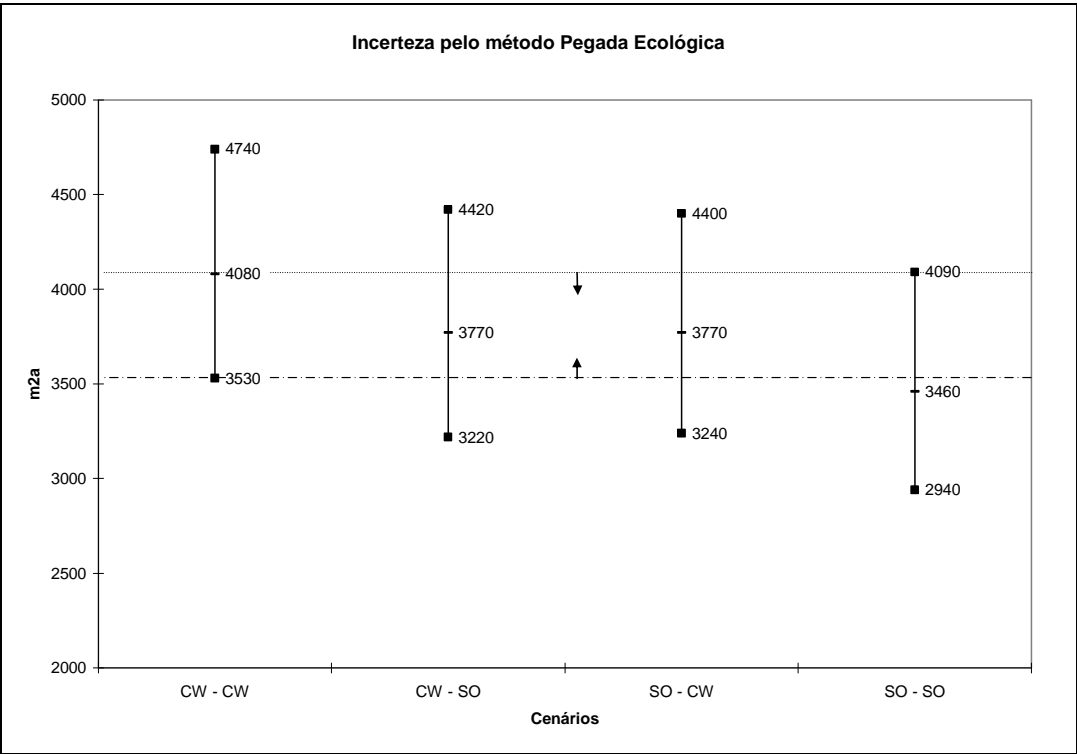


Figura 34: Valores da análise de incerteza pelo método Pegada Ecológica para quatro diferentes cenários de produção de ração



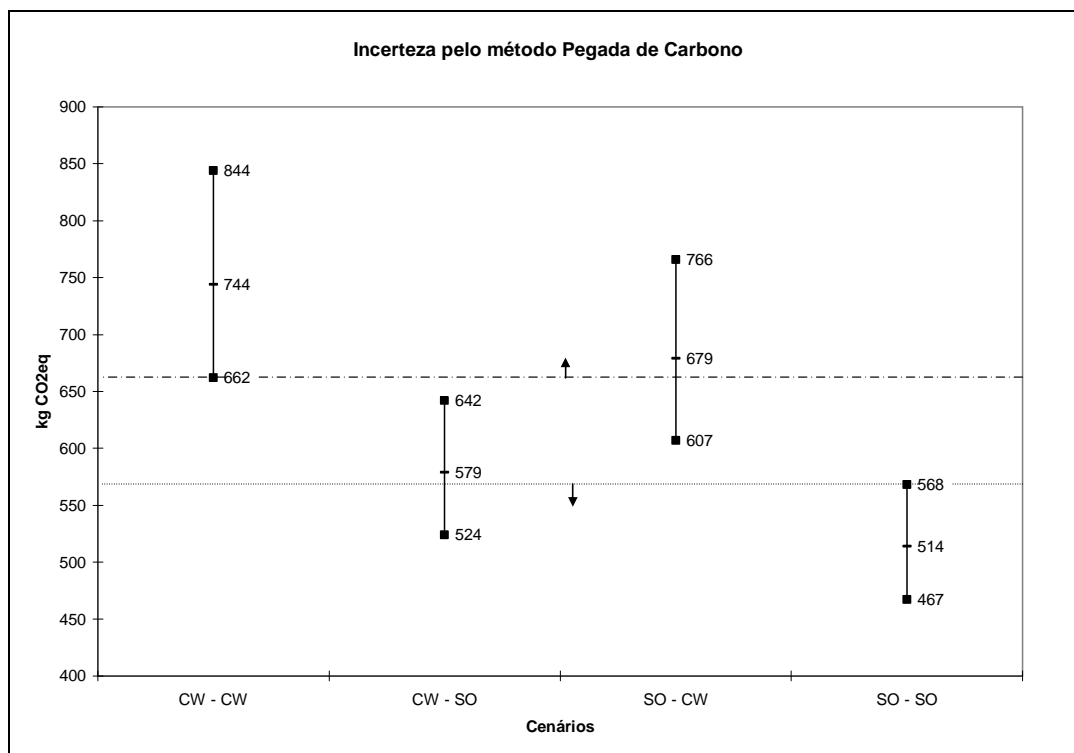


Figura 35: Valores da análise de incerteza pelo método Pegada de Carbono para quatro diferentes cenários de produção de ração

O único método onde se pode tirar conclusões após a análise de incerteza é a Pegada de Carbono, já que existem somente dois cenários acima da linha tracejada e dois cenários abaixo da linha pontilhada. O cenário SO – SO só pode ser ultrapassado como o de melhor desempenho ambiental pelo cenário CW – SO e o cenário CW – CW só pode ser ultrapassado como o de pior desempenho ambiental pelo cenário SO – CW. Sendo assim, as classificações possíveis na Pegada de Carbono, após análise de incerteza, ficam conforme Tabela 23.

Tabela 23: Possibilidades de classificações de melhor desempenho ambiental para quatro diferentes cenários de produção de ração de aves usando o método da Pegada de Carbono

Cenários	CW – CW	CW – SO	SO – CW	SO – SO
Classificação				
1º	-	-	X	X
2º	-	X	X	X
3º	X	X	X	-
4º	X	X	-	-

Nos outros três métodos existem quatro cenários abaixo da linha pontilhada e quatro cenários acima da linha tracejada, mostrando que todas as classificações são possíveis. Dessa maneira, não seria possível dizer qual cenário tem melhor desempenho ambiental. A Tabela 24 apresenta as classificações possíveis após análise de incertezas.

Tabela 24: Classificações possíveis de desempenho ambiental dos quatro diferentes cenários de produção de ração de aves após análise de incertezas usando diferentes métodos de AICV

Classificação dos cenários	Ração CW – CW	Ração CW – SO	Ração SO – CW	Ração SO – SO
Eco-indicator 99 (Pt)	1° / 2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3° / 4°
CML (modificado) (Pt*)	1° / 2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3° / 4°
Pegada Ecológica (m <sup>2</sup> a)	1° / 2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3° / 4°
Pegada de Carbono (kg-CO <sub>2</sub> eq.)	3° / 4°	2° / 3° / 4°	1° / 2° / 3°	1° / 2°

Um dos prováveis motivos que fizeram com que os resultados da análise de incertezas tornem inconclusivos os resultados da ACV, na comparação dos diferentes cenários de produção de ração, está no fato de terem sido utilizadas as informações de somente um especialista. Acredita-se que os resultados possam mudar com um maior número de respostas ao questionário.

#### 4.6. DISCUSSÃO FINAL DOS MÉTODOS DE AICV

Neste sub-capítulo será feita uma discussão sobre os métodos de AICV, a partir das análises realizadas no capítulo 4.

O método Eco-indicator 99 possui a vantagem de ter mais categorias de impacto ambiental. Ele apresenta os resultados em forma de dano, e passa por todos os elementos considerados opcionais pelas normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (normalização, ponderação e agregação), o que pode ser considerado uma vantagem. No entanto, isso faz com que o método tenha maior incerteza, já que são necessárias diversas considerações subjetivas para realizar aquelas etapas. Outra desvantagem do método são as unidades usadas para as categorias ligadas à saúde humana e qualidade de ecossistemas, DALY e PDF\*m<sup>2</sup>ano respectivamente, que são de difícil compreensão para o público-alvo.

O método CML (modificado) também possui a vantagem de ter mais categorias de impacto ambiental. Este pode ser preferível ao Eco-indicator 99 por possuir menor subjetividade (por ser *Midpoint* e não ter a etapa de ponderação) e por utilizar unidades mais conhecidas ao público-alvo. No entanto seus criadores não propõem nenhuma forma de agregação para gerar resultados em pontuação única. Há diferenças entre alguns modelos de caracterização desses dois métodos, porém não se pode dizer qual deles é mais recomendado.

A Pegada Ecológica possui uma visão bastante diferente dos outros dois métodos, já que ela avalia somente as ocupações (reais e virtuais) do solo. Uma vantagem desse método é a ligação que ele faz com a sustentabilidade da Terra, ao gerar um resultado em pontuação única que se refere à área de terra. Além disso, essa unidade usada é de fácil compreensão ao público-alvo, já que é muito mais fácil visualizar um metro quadrado que um DALY, por exemplo. Por outro lado, a restrição do método à categoria de ocupação do solo (e aquecimento global) pode ser encarada como uma desvantagem, já que não são considerados impactos como eutrofização, acidificação, toxicidade, entre outros. Um produto que ocupe uma área menor e emita mais poluentes tóxicos é avaliado ambientalmente como melhor que um que ocupe área maior e tenha menor potencial de toxicidade, se for utilizado esse método de AICV.

A Pegada de Carbono, por mais que tenha sido originada do conceito da Pegada Ecológica (JOHNSON, 2008), não apresenta muita ligação com esse método e aparenta mais ser uma simplificação dos outros métodos de AICV. Isso porque se restringe à categoria de aquecimento global, um impacto ambiental bastante conhecido pela população devido ao apelo da mídia. Por esse motivo, igualmente à Pegada Ecológica, uma desvantagem desse método é não considerar outros impactos ambientais, como eutrofização, acidificação e toxicidade. Porém, seu apelo é forte, possui unidades de fácil compreensão para o público-alvo e, por ser mais simplificado, é também menos subjetivo, o que diminui os erros implícitos.

O Quadro 6 apresenta um resumo das vantagens e desvantagens de cada método em comparação aos outros.

<b>Método de AICV</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Eco-indicator 99	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Método holístico (com várias categorias de impacto ambiental);</li> <li>○ Resultados em forma de dano (<i>endpoint</i>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Maior subjetividade;</li> <li>○ Unidades de difícil compreensão.</li> </ul>
CML (modificado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Método holístico (com várias categorias de impacto ambiental);</li> <li>○ Menor subjetividade;</li> <li>○ Unidades mais amigáveis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Não é proposta forma de agregação.</li> </ul>
Pegada Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Faz relação com a sustentabilidade da Terra;</li> <li>○ Unidade de fácil compreensão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Apenas duas categorias de impacto ambiental (ocupação do solo e aquecimento global);</li> </ul>
Pegada de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Método com apelo forte na mídia;</li> <li>○ Unidade de fácil compreensão;</li> <li>○ Menor subjetividade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Apenas uma categoria de impacto ambiental (aquecimento global).</li> </ul>

Quadro 6: Vantagens e desvantagens dos métodos de AICV

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente estudo, somente um dos quatro métodos de AICV (Pegada Ecológica) apresentou resultado final diferente, sem considerar a incerteza atribuída aos dados. No entanto, isto e o que foi apresentado no sub-capítulo 4.4.5 são suficientes para demonstrar que métodos de AICV diferentes podem levar a resultados distintos de ACV. Deste modo, ressalta-se a importância de se conhecer a fundo o método antes de utilizá-lo, inicialmente para escolher aquele que atenda as necessidades do estudo, mas também para poder justificar alguns resultados discrepantes e estimar impactos negligenciados.

Por outro lado, devido à dificuldade existente em encontrar um método de AICV que seja ideal para um determinado estudo, já que eles sempre terão vantagens e desvantagens, uma proposta interessante seria realizar estudos de ACV com mais de um método de AICV. Isso já é realizado por diversos autores e auxilia numa tomada de decisão mais confiável, já que não seria baseada somente em um método. Nos casos em que se tenham resultados convergentes, esta maneira de análise dará maior confiança ao decisor. Porém, em caso de resultados divergentes, caberá a este definir previamente critérios de escolha do método ao qual irá aceitar como resposta final (afinidade das categorias de impacto ambiental, maior diferença nos resultados, etc) ou mesmo escolher um novo critério de decisão (social e/ou econômico, por exemplo).

O CML e o Eco-indicator 99 se mostraram métodos de AICV interessantes de serem usados na área agrícola, por gerarem resultados consistentes tanto para cada categoria de impacto ambiental quanto para uma pontuação única (para este último é necessário adotar um procedimento de agregação no método CML).

O uso do método da Pegada Ecológica numa ACV na área agrícola pode ser interessante por gerar resultados mais visuais ao impacto, uma vez que contabilizam-se áreas de cultivo e pastagem. Por outro lado, acredita-se que esse método não é recomendado por negligenciar categorias de impacto ambiental significantes para esse setor econômico, como eutrofização e acidificação.

Recomenda-se utilizar a Pegada de Carbono apenas como uma análise preliminar simplificada, não deixando que ela seja o único método, evitando assim omitir outros impactos. Para ilustrar essa questão, imaginam-se dois produtos: “A”, com pouca emissão de carbono e alta emissão de substâncias tóxicas, e “B”, com alta emissão de carbono e baixa emissão de substâncias tóxicas. É importante que o estudo de ACV mostre isso deixando a escolha pelo produto ao tomador de decisão, e não que simplesmente aponte qual tem menor Pegada de Carbono, impondo a decisão final.

Quanto ao estudo de caso que comparou os diferentes cenários de produção de ração de aves, somente o método Pegada de Carbono permitiu diferenciar claramente os cenários, mostrando que uma ração cujos componentes são oriundos do sul do país causa menos impactos, ao menos nesta categoria, do que uma ração que usa componentes oriundos da região centro-oeste. Entretanto, usando os outros métodos de AICV aqui estudados, não é possível chegar a esta conclusão quando se considera a incerteza atribuída aos dados.

Recomenda-se para trabalhos futuros avaliar a incorporação de todos os GEE no método da Pegada Ecológica e comparar com a Pegada Ecológica tradicional. Além disso, recomenda-se realizar novamente a análise de incertezas dos cenários de ração, porém utilizando as informações de um número maior de especialistas para compor o cenário de incertezas e respectivos valores de desvio-padrão do inventário dos sistemas de cultivo de milho e soja.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; VIANA, J. H. M. Manejo de solos. In: CRUZ, José Carlos. **Cultivo do milho**. Sistema de Produção 2. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

AMARAL, N. M. B. S.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A. C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 271-276. 1992.

ANDRADE, B. B. **Turismo e Sustentabilidade no Município de Florianópolis: Uma aplicação do Método da Pegada Ecológica**. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2006.

AUDSLEY, E.; ALBER, S.; CLIFT, R.; COWELL, S.; CRETTEZ, P.; GAILLARD, G.; JOLLIET, O.; KLEIJN, R.; MORTENSEN, B.; PEARCE, D.; ROGER, E.; TEULON, H.; WEIDEMA, B.; VAN ZEIJTS, H.; HAUSHEER, J. **Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture** Silsoe, United Kingdom: Silsoe Research Institute. European Commission DG VI Agriculture, 1997. 107p.

BARE, J. C.; HOFSTETTER, P.; PENNINGTON, D. W.; HAES, H. A. U. d. Midpoints versus Endpoints: The Sacrifices and Benefits. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.5, n.6, p.319-326. 2000.

BASSET-MENS, C.; VAN DER WERF, H. M. G.; ROBIN, P.; MORVAN, T.; HASSOUNA, M.; PAILLAT, J. M.; VERTÈS, F. Methods and data for the environmental inventory of contrasting pig production systems. **Journal of Cleaner Production**, v.15, n.15, p.1395-1405. 2007.

BELLAVER, C. Nutrição e Alimentação. In: AVILA, Valdir Silveira de. **Produção Frangos de Corte**. Sistemas de Produção 2. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2003. (versão online).

BICKNELL, K. B.; BALL, R. J.; CULLEN, R.; BIGSBY, H. R. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. **Ecological Economics**, v.27, n.2, p.149-160. 1998.

BRENT, A. C.; HIETKAMP, S. Comparative Evaluation of Life Cycle Impact Assessment Methods with a South African Case Study. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.8, n.1, p.27-38. 2003.

BSI; CARBON TRUST; DEFRA. **Guide to PAS 2050:2008**: How to assess the carbon footprint of goods and services. Londres, Reino Unido, 2008a. 58 p.

\_\_\_\_\_. **PAS 2050:2008**: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Londres, Reino Unido, 2008b. 43 p.

CAMPOS, M. L.; SILVA, F. N. d.; FURTINI NETO, A. E.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; ANTUNES, A. S. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. Determination of cadmium, copper, chromium, nickel, lead and zinc in rock phosphates. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.4, p.361-367. 2005.

CARBON TRUST. **Code of Good Practice for Product Greenhouse Gas Emissions and Reduction Claims**. Londres, Reino Unido: Carbon Trust, 2008a. 24 p.

\_\_\_\_\_. **Product carbon footprinting: The new business opportunity**. Londres, Reino Unido: Carbon Trust, 2008b. 36 p.

CEPA. **Custo de produção milho alta tecnologia; soja alta tecnologia**. Disponível em: <<http://www.cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em: 01/07/2008.

CHAMBERS, N.; SIMMONS, C.; WACKERNAGEL, M. **Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an indicator of sustainability**. Londres, Reino Unido: Earthscan, 2000. 185 p.

CHEHEBE, J. R. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark Editora, 1998. 104 p.

CHEN, B.; CHEN, G. Q. Modified ecological footprint accounting and analysis based on embodied exergy—a case study of the Chinese society 1981–2001. **Ecological Economics**, v.61, n.2-3, p.355-376. 2007.

CIDIN, R. d. C. P. J.; SILVA, R. S. d. Pegada ecológica: instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural. **Estudos Geográficos**, v.2, n.1, p.43-52. 2004.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. Soil and water losses by rainfall erosion influenced by tillage methods, slope steepness classes, and soil fertility levels. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753. 2003.

CONAB. **Central de informações agropecuárias**. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em: 10 out. 2009.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, J. H. M.; Filho, I. A. P.; Santana, D. P.; etc.. Manejo de solos. In: CRUZ, José Carlos. **Cultivo do milho**. Sistema de Produção 2. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

DOLLÉ, J.-B.; LE GALL, A.; DELTOUR, L.; CARIOLLE, M.; ESPAGNOL, S.; GUIGAND, N.; LAGADEC, S.; FLENET, F.; LELLAHI, A.; MALAVAL, C.; PONCHANT, P. **GES'TIM, guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre**. Institut de l'Elevage, Arvalis, ITB, IFIP, ITAVI, 2009. 143 p.

DREYER, L. C.; NIEMANN, A. L.; HAUSCHILD, M. Z. Comparison of Three Different LCIA Methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.8, n.4, p.191-200. 2003.

DUARTE, J. d. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. Economia da produção. In: CRUZ, José Carlos. **Cultivo do milho**. Sistemas de Produção 2. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.



EMBRAPA. **Sistemas de produção 5: tecnologia de produção de soja – Paraná 2005** Embrapa Soja. Londrina, Brazil: EMBRAPA, 2004. (versão online).

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2009 e 2010**. Sistemas de Produção 13. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2008. 262 p.

FINKBEINER, M. Carbon footprinting—opportunities and threats. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.14, n.2, p.91-94. 2009.

FINKBEINER, M.; INABA, A.; TAN, R. B. H.; CHRISTIANSEN, K.; KLÜPPEL, H.-J. The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.11, n.2, p.80 – 85. 2006.

FREIERMUTH R. **Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz – SALCA – Schwermetall**, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), 28p. 2006.

FREY, S. D.; HARRISON, D. J.; BILLETT, E. H. Ecological Footprint Analysis Applied to Mobile Phones. **Journal of Industrial Ecology**, v.10, n.1 - 2, p.199-217. 2006.

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; ALTHAUS, H.-J.; DOKA, G.; HECK, T.; HELLWEG, S.; HISCHIER, R.; NEMECEK, T.; REBITZER, G.; SPIELMANN, M.; WERNET, G. **Overview and Methodology**. Ecoinvent report No. 1. Dubendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007. 77 p.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological Footprint Standards 2009. Oakland: Global Footprint Network, 2009. 17 p.

GOEDKOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; SCHRYVER, A. D.; STRUIJS, J.; ZELM, R. v. **ReCiPe 2008: Report I - Characterisation**. Amersfoort, Holanda: PRé Consultants, CML (University of Leiden), Radboud University Nijmegen e RIVM, 2009. 126p.

GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. **The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment: Methodology Report**. Amersfoort, Holanda: PRé Consultants, 2001. 132 p.

GUINÉE, J. B. (Ed.). **Handbook of Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. Kluwer Academic Publishers, 2002. 692 p.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 145-154. 1999.

HUIJBREGTS, M. A. J.; HELLWEG, S.; FRISCHKNECHT, R.; HUNGERBUHLER, K.; HENDRIKS, A. J. Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. **Ecological Economics**, v.64, n.4, p.798-807. 2008.

HUIJBREGTS, M. A. J.; ROMBOUTS, L. J. A.; HELLWEG, S.; FRISCHKNECHT, R.; HENDRIKS, A. J.; VAN DE MEENT, D.; RAGAS, A. M. J.; REIJNDERS, L.; STRUIJS, J. Is cumulative fossil energy demand a useful indicator for the environmental performance of products? **Environmental Science & Technology**, v.40, n.33, p.641-648. 2006.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Genebra, Suíça: 2007. 52 p.

\_\_\_\_\_. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Kamiyamaguchi Hayama, Kanagawa, Japan: IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006 p.

ISO. **ISO 14040**: Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. Genebra, Suíça, 2006a. 21 p.

\_\_\_\_\_. **ISO 14044**: Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Genebra, Suíça, 2006b. 47 p.

\_\_\_\_\_. **ISO 14025**: Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures. Genebra, Suíça, 2006. 25 p.

JOHNSON, E. Disagreement over carbon footprints: A comparison of electric and LPG forklifts. **Energy Policy**, v.36, n.4, p.1569-1573. 2008.

JOLLIET, O.; MARGNI, M.; CHARLES, R.; HUMBERT, S.; PAYET, J.; REBITZER, G.; ROSENBAUM, R. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.8, n.6, p.324-330. 2003.

JUNGBLUTH, N.; CHUDACOFF, M.; DURIAT, A.; DINKEL, F.; DOKA, G.; EMMENEGGER, M. F.; GNANSOUNOU, E.; KLJUN, N.; SCHLEISS, K.; SPIELMANN, M.; STETTLER, C.; SUTTER, J. **Life cycle inventories of Bioenergy** Dübendorf, Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007. 755 p.

KLOEPFFER, W. Life Cycle Sustainability Assessment of Products. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.13, n.2, p.89-95. 2008.

LENZEN, M.; MURRAY, S. A. A modified ecological footprint method and its application to Australia. **Ecological Economics**, v.37, n.2, p.229-255. 2001.

LIMA, R. J. S. **Proposta de gerenciamento de áreas agrícolas segundo a divisão do estado em regiões hidrográficas** Belém do Pará: Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2005. 43 p.

LIU, Q.-P.; LIN, Z.-S.; FENG, N.-H.; LIU, Y.-M. A Modified Model of Ecological Footprint Accounting and Its Application to Cropland in Jiangsu, China. **Pedosphere**, v.18, n.2, p.154-162. 2008.

MARQUES, B. d. A. **Considerações Ambientais e Exergéticas na Fase de Pós-Colheita de Grãos: Estudo de Caso do Estado do Paraná**. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

NEMECEK, T.; KÄGI, T. **Life cycle inventories of agricultural production systems** Zürich and Dübendorf, Switzerland: ART - Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station, 2007. 353 p.

NGUYEN, H. T. T. **Contraintes environnementales et formulation d'aliments pour la volaille**. Rennes, França: 2009. 113 p.

NGUYEN, H. X.; YAMAMOTO, R. Modification of ecological footprint evaluation method to include non-renewable resource consumption using thermodynamic approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v.51, n.4, p.870–884. 2007.

NICCOLUCCI, V.; GALLI, A.; KITZES, J.; PULSELLI, R. M.; BORSA, S.; MARCHETTINI, N. Ecological Footprint analysis applied to the production of two Italian wines. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.128, n.3, p.162-166. 2008.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos** Embrapa, Documentos. Concórdia, Brasil: MARA / EMBRAPA - CNPSA, 1993.

OMETTO, A. R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. 209 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2005.

PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas** Embrapa, Documentos. Rio Branco, Acre, Brasil: Embrapa, 2000.

PENELA, A. C.; VILLASANTE, C. S. Applying physical input–output tables of energy to estimate the energy ecological footprint (EEF) of Galicia (NW Spain). **Energy Policy**, v.36, n.3, p.1148–1163. 2008.

RAMÍREZ, P. **Análise de Métodos de Alocação Utilizados em Avaliação do Ciclo de Vida**. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Grauação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

RANGANATHAN, J.; CORBIER, L.; BHATIA, P.; SCHMITZ, S.; GAGE, P.; OREN, K. **The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard** World Business Council for Sustainable Development e World Resources Institute, 2004. 114 p.

REAP, J.; ROMAN, F.; DUNCAN, S.; BRAS, B. A survey of unresolved problems in life cycle assessment - Part 1: goal and scope and inventory analysis. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.13, n.4, p.290-300. 2008a.

\_\_\_\_\_. A survey of unresolved problems in life cycle assessment - Part 2: impact assessment and interpretation. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.13, n.5, p.374-388. 2008b.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; SCHMIDT, W.-P.; SUH, S.; WEIDEMA, B. P.; PENNINGTON, D. W. Life cycle assessment - Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, v.30, n.5, p.701-720. 2004.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (34:2006:Pelotas). **Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2006/2007**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2006. 237 p. (versão online).

ROCKENBACH, I. H.; AGOSTINI, I.; SILVA, M. C. S.; DAMBRÓS, R. N. **Manual de coeficientes de mão-de-obra e mecanização em atividades agropecuárias e de aquíicultura de Santa Catarina** Epagri, Documentos. Florianópolis, Brasil: EPAGRI, 2005.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. Fuel consumption in the subsoiling operation accomplished before and after different preparation systems of periodic soil tillage. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.256-262. 2008.

SCHMIDT, H.-J. Carbon footprinting, labelling and life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.14, sup.1, p.6-9. 2009.

SETAC Europe LCA Steering Committee. Standardisation Efforts to Measure Greenhouse Gases and 'Carbon Footprinting' for Products (Editorial). **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.13, n.2, p.87-88. 2008.

SINDEN, G. The contribution of PAS 2050 to the evolution of international greenhouse gas emission standards. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v.14, n.3, p.195-203. 2009.

SOUSA, S. R. **Normalização de Critérios Ambientais Aplicados à Avaliação do Ciclo de Vida**. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2008.

SPIES, A. **The sustainability of the pig and poultry industries in Santa Catarina, Brazil: a framework for change**. 379-379 f. - University of Queensland, School of Natural and Rural Systems management, 2003.

SUH, S.; HUPPES, G. Methods for Life Cycle Inventory of a product. **Journal of Cleaner Production**, v.13, n.7, p.687-697. 2005.

UNITED NATIONS. **Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change**. Kyoto, Japan, 1998. 21 p.

VAN BELLEN, H. M. Desenvolvimento Sustentável: Uma descrição das Principais Ferramentas de Avaliação. **Ambiente & Sociedade**, v.7, n.1, p.67-87. 2004.

VAN DEN BERGH, J. C. J. M.; VERBRUGGEN, H. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'. **Ecological Economics**, v.29, n.1, p.61-72. 1999.

VAN DER WERF, H. M. G.; TZILIVAKIS, J.; LEWIS, K.; BASSET-MENS, C. Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.118, n.1 - 4, p.327-338. 2007.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth**. Canadá: NSP, 1996. 160 p.

WACKERNAGEL, M.; YOUNT, D. J. The Ecological Footprint: An indicator of progress toward regional sustainability. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.51, n.1 - 2, p.511-529. 1998.

WEIDEMA, B. P.; THRANE, M.; CHRISTENSEN, P.; SCHMIDT, J.; LOKKE, S. Carbon Footprint: A Catalyst for Life Cycle Assessment? **Journal of Industrial Ecology**, v.12, n.1, p.3-6. 2008.

WIEDMANN, T.; LENZEN, M. On the conversion between local and global hectares in Ecological Footprint analysis. **Ecological Economics**, v.60, n.4, p.673-677. 2007.

WIEDMANN, T.; MINX, J. **A Definition of 'Carbon Footprint'**. Durham, Reino Unido: Isauk Research & Consulting, 2007. 11 p.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT; WORLD RESOURCE INSTITUTE. **The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard**. World Business Council for Sustainable Development e World Resources Institute, 2004. 114 p.

ZHAO, S.; LI, Z.; LI, W. A modified method of ecological footprint calculation and its application. **Ecological Modelling**, v.185, n.1, p.65-75. 2005.

## 7. APÊNDICE A – Bibliografia usada nos processos de milho e soja

Substância	Milho Sul	Milho Centro-oeste	Soja Sul	Soja Centro-oeste
Transformações	-	(JUNGBLUTH et al., 2007) - (modificado)	-	(JUNGBLUTH et al., 2007) - (modificado)
Ocupações	-	(JUNGBLUTH et al., 2007) - (modificado)	-	(JUNGBLUTH et al., 2007) - (modificado)
Transp. (16-32t)	(SPIES, 2003)	(SPIES, 2003)	(SPIES, 2003)	(SPIES, 2003)
Transp. (>32t)	(SPIES, 2003)	(SPIES, 2003)	(SPIES, 2003)	(SPIES, 2003)
Calcário	(CEPA, 2008)	CooperCarol <sup>16</sup>	(CEPA, 2008)	IMEA <sup>17</sup>
N - uréia	(CEPA, 2008)	(EMBRAPA, 2004) e CooperCarol <sup>12</sup>	(CEPA, 2008)	IMEA <sup>13</sup> , (CEPA, 2008) e (ROCKENBACH et al., 2005)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(CEPA, 2008)	CooperCarol <sup>12</sup>	(CEPA, 2008)	IMEA <sup>13</sup> , (CEPA, 2008) e (ROCKENBACH et al., 2005)
K <sub>2</sub> O	(CEPA, 2008)	CooperCarol <sup>12</sup>	(CEPA, 2008)	IMEA <sup>13</sup> , (CEPA, 2008) e (ROCKENBACH et al., 2005)
Trator	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (CEPA, 2008), (EMBRAPA, 2004) e (ROCKENBACH et al., 2005)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (CEPA, 2008) e (EMBRAPA, 2004)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (CEPA, 2008), (EMBRAPA, 2004) e (ROCKENBACH et al., 2005)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), CooperCarol <sup>12</sup> e (CEPA, 2008)
Colhedeira	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (AUDSLEY et al., 1997), (PACHECO, 2000), (CEPA, 2008) e (SALVADOR; BENEZ; MION, 2008)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (AUDSLEY et al., 1997), (PACHECO, 2000), (EMBRAPA, 2004) e (SALVADOR; BENEZ; MION, 2008)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (AUDSLEY et al., 1997), (PACHECO, 2000), (CEPA, 2008) e (SALVADOR; BENEZ; MION, 2008)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (AUDSLEY et al., 1997), (PACHECO, 2000), e (SALVADOR; BENEZ; MION, 2008)
Outras máquinas	(NEMECEK; KÄGI, 2007) e (CEPA, 2008)	(NEMECEK; KÄGI, 2007) e (CEPA, 2008)	(NEMECEK; KÄGI, 2007) e (CEPA, 2008)	(NEMECEK; KÄGI, 2007)
Combustível	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (CEPA, 2008), (ROCKENBACH et al., 2005), (EMBRAPA, 2004) e (DOLLÉ et al., 2009)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), CooperCarol <sup>12</sup> , (CEPA, 2008), (EMBRAPA, 2004) e (DOLLÉ et al., 2009)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (CEPA, 2008), (ROCKENBACH et al., 2005), (EMBRAPA, 2004) e (DOLLÉ et al., 2009)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (CEPA, 2008), CooperCarol <sup>12</sup> e (DOLLÉ et al., 2009)

Quadro 7: Bibliografias utilizadas para modelar os processos de cultivo de milho e soja (continua)

<sup>16</sup> Informações obtidas a partir de tabelas existentes no site da CooperCarol (Cooperativa de Economia e Crédito Mútuo dos Funcionários da CAROL).

<sup>17</sup> Informações obtidas a partir de tabelas existentes no site do IMEA (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária).

<b>Substância</b>	<b>Milho Sul</b>	<b>Milho Centro-oeste</b>	<b>Soja Sul</b>	<b>Soja Centro-oeste</b>
Pesticidas	(CEPA, 2008)	(EMBRAPA, 2004) e CooperCarol <sup>18</sup>	(CEPA, 2008)	IMEA <sup>19</sup> , (CEPA, 2008), Contagri <sup>20</sup>
Metais pesados	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (AMARAL et al., 1992), (CAMPOS et al., 2005) e (FREIERMUTH, 2006)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (AMARAL et al., 1992), (CAMPOS et al., 2005) e (FREIERMUTH, 2006)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (AMARAL et al., 1992), (CAMPOS et al., 2005) e (FREIERMUTH, 2006)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (AMARAL et al., 1992), (CAMPOS et al., 2005) e (FREIERMUTH, 2006)
NH <sub>3</sub>	(IPCC, 2006), (CEPA, 2008) e (OLIVEIRA, 1993)	(IPCC, 2006), (EMBRAPA, 2004), (OLIVEIRA, 1993) e CooperCarol <sup>14</sup>	(IPCC, 2006), (CEPA, 2008) e (OLIVEIRA, 1993)	(IPCC, 2006), (CEPA, 2008), (OLIVEIRA, 1993), (ROCKENBACH et al., 2005) e IMEA <sup>15</sup>
N <sub>2</sub> O	(IPCC, 2006), (CEPA, 2008), (BASSET-MENS et al., 2007) e (OLIVEIRA, 1993)	(IPCC, 2006), (BASSET-MENS et al., 2007), (OLIVEIRA, 1993) e CooperCarol <sup>14</sup>	(IPCC, 2006), (BASSET-MENS et al., 2007) e (OLIVEIRA, 1993)	(IPCC, 2006), (BASSET-MENS et al., 2007), (OLIVEIRA, 1993) e (CEPA, 2008)
NO <sub>x</sub>	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (IPCC, 2006), (CEPA, 2008), (BASSET-MENS et al., 2007) e (OLIVEIRA, 1993)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (IPCC, 2006), (BASSET-MENS et al., 2007), (OLIVEIRA, 1993), CooperCarol <sup>14</sup>	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (IPCC, 2006), (BASSET-MENS et al., 2007) e (OLIVEIRA, 1993)	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (IPCC, 2006), (BASSET-MENS et al., 2007), (OLIVEIRA, 1993), (CEPA, 2008)
NO <sub>3</sub>	(BASSET-MENS et al., 2007)	(BASSET-MENS et al., 2007)	(BASSET-MENS et al., 2007)	(BASSET-MENS et al., 2007)
PO <sub>4</sub>	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (CEPA, 2008, IPCC, 2006), (OLIVEIRA, 1993), (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003), (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999), (LIMA, 2005) e Comunicação pessoal <sup>21</sup>	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (IPCC, 2006), (OLIVEIRA, 1993), CooperCarol <sup>14</sup> , (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003), (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999), (LIMA, 2005) e Comunicação pessoal <sup>17</sup>	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (CEPA, 2008, IPCC, 2006), (OLIVEIRA, 1993), (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003), (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999), (LIMA, 2005) e Comunicação pessoal <sup>17</sup>	(NEMECEK; KÄGI, 2007), (IPCC, 2006), (OLIVEIRA, 1993), (CEPA, 2008), IMEA <sup>15</sup> , (ROCKENBACH et al., 2005), (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003), (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999), (LIMA, 2005), e Comunicação pessoal <sup>17</sup>

Quadro 8: Bibliografias utilizadas para modelar os processos de cultivo de milho e soja (conclusão)

<sup>18</sup> Informações obtidas a partir de tabelas existentes no site da CooperCarol (Cooperativa de Economia e Crédito Mútuo dos Funcionários da CAROL).

<sup>19</sup> Informações obtidas a partir de tabelas existentes no site do IMEA (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária).

<sup>20</sup> Contagri é um software de contabilidade rural, desenvolvido pela EPAGRI/CEPA, que contém dados de propriedades rurais de Santa Catarina e Mato Grosso.

<sup>21</sup> Valores obtidos em comunicação pessoal com o Sr. M. da Veiga, funcionário da Epagri.

## 8. APÊNDICE B – Questionário aplicado aos especialistas para análise de incerteza de dados

Para avaliar a incerteza de um dado, Frischknecht et. al. (2007) propõe a composição de valores de desvio-padrão a partir de um questionário, a ser aplicado para um painel de especialistas. Esse questionário é composto de seis perguntas, a serem respondidas para cada dado analisado. As perguntas são referentes às características dos dados e refere-se a:

- Confiabilidade do dado;
- Completeza;
- Correlação temporal;
- Correlação geográfica;
- Correlação tecnológica;
- Tamanho da amostra.

O especialista deverá responder o questionário com valores de 1 a 5, conforme a matriz pedigree, exposta na Figura 36. Deve-se buscar nessa matriz a frase que melhor se encaixe a realidade do dado. Para cada nota dada há um valor de fator de incerteza, conforme Frischknecht et. al. (2007) (Tabela 7.4). Além disso, deverá ser observada qual a natureza do dado analisado e qual seu fator de incerteza básico, conforme Frischknecht et. al. (2007) (Tabela 7.2). Esses sete valores são aplicados na Equação 1, para obter um valor de desvio-padrão do dado.

Equação 1:

$$DP = e^{\sqrt{\{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2 + [\ln(U_B)]^2\}}}}$$

Sendo:

DP = Desvio-padrão;

$U_1$  = Fator de incerteza da confiabilidade do dado;

$U_2$  = Fator de incerteza da completeza;

$U_3$  = Fator de incerteza da correlação temporal;

$U_4$  = Fator de incerteza da correlação espacial;

$U_5$  = Fator de incerteza da correlação tecnológica;

$U_6$  = Fator de incerteza do tamanho da amostra;

$U_B$  = Fator de incerteza básico.



Indicator score	1	2	3	4	5	Remarks
Reliability	Verified data based on measurements	Verified data partly based on assumptions OR non-verified data based on measurements	Non-verified data partly based on qualified estimates	Qualified estimate (e.g. by industrial expert); data derived from theoretical information (stoichiometry, enthalpy, etc.)	Non-qualified estimate	verified means: published in public environmental reports of companies, official statistics, etc unverified means: personal information by letter, fax or e-mail
Completeness	Representative data from all sites relevant for the market considered over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from >50% of the sites relevant for the market considered over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from only some sites (<<50%) relevant for the market considered OR >50% of sites but from shorter periods	Representative data from only one site relevant for the market considered OR some sites but from shorter periods	Representativeness unknown or data from a small number of sites AND from shorter periods	Length of adequate period depends on process/technology
Temporal correlation	Less than 3 years of difference to our reference year (2000)	Less than 6 years of difference to our reference year (2000)	Less than 10 years of difference to our reference year (2000)	Less than 15 years of difference to our reference year (2000)	Age of data unknown or more than 15 years of difference to our reference year (2000)	less than 3 years means: data measured in 1997 or later; score for processes with investment cycles of <10 years; for other cases, scoring adjustments can be made accordingly
Geographical correlation	Data from area under study	Average data from larger area in which the area under study is included	Data from smaller area than area under study, or from similar area		Data from unknown OR distinctly different area (north america instead of middle east, OECD-Europe instead of Russia)	Similarity expressed in terms of environmental legislation. Suggestion for grouping: North America, Australia; European Union, Japan, South Africa; South America, North and Central Africa and Middle East; Russia, China, Far East Asia
Further technological correlation	Data from enterprises, processes and materials under study (i.e. identical technology)		Data on related processes or materials but same technology, OR Data from processes and materials under study but from different technology	Data on related processes or materials but different technology, OR data on laboratory scale processes and same technology	Data on related processes or materials but on laboratory scale of different technology	Examples for different technology: - steam turbine instead of motor propulsion in ships - emission factor B(a)P for diesel train based on lorry motor data Examples for related processes or materials: - data for tiles instead of bricks production - data of refinery infrastructure for chemical plants infrastructure
Sample size	>100, continuous measurement, balance of purchased products	>20	> 10, aggregated figure in env. report	>=3	unknown	sample size behind a figure reported in the information source

Figura 36: Matriz pedigree para composição de notas do questionário (extraído de Frischknecht et. al. (2007)).

## 9. APÊNDICE C - ICV dos quatro cenários representado sob a forma sistêmica (em inglês)

Substance	Compartment	Unit	Ração CW - CW	Ração CW - SO	Ração SO - CW	Ração SO - SO
<b>INPUTS</b>						
Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	Raw	kg	3,76E-01	3,10E-01	3,31E-01	2,65E-01
Anhydrite, in ground	Raw	kg	5,75E-06	4,44E-06	5,03E-06	3,73E-06
Arable land use, soy bean, Argentina	Raw	m2a	4,11E+00	4,11E+00	4,11E+00	4,11E+00
Barite, 15% in crude ore, in ground	Raw	kg	4,65E-01	3,78E-01	4,27E-01	3,40E-01
Baryte, in ground	Raw	kg	5,99E-04	5,99E-04	5,99E-04	5,99E-04
Basalt, in ground	Raw	kg	3,41E-02	2,81E-02	3,22E-02	2,62E-02
Bauxite, in ground	Raw	kg	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04
Borax, in ground	Raw	kg	7,12E-07	5,57E-07	6,44E-07	4,90E-07
Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, In, in ground	Raw	kg	6,50E-04	4,32E-04	5,23E-04	3,05E-04
Calcite, in ground	Raw	kg	3,28E+02	2,47E+02	3,20E+02	2,40E+02
Carbon dioxide, in air	Raw	kg	3,43E+01	3,39E+01	3,42E+01	3,38E+01
Carbon, in organic matter, in soil	Raw	kg	4,83E-03	4,02E-03	4,54E-03	3,73E-03
Cerium, 24% in bastnasite, 2.4% in crude ore, in ground	Raw	kg	-2,30E-20	-1,89E-20	-2,10E-20	-1,69E-20
Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,21E-01	1,10E-01	1,16E-01	1,04E-01
Chromium, in ground	Raw	kg	4,04E-06	4,04E-06	4,04E-06	4,04E-06
Chrysotile, in ground	Raw	kg	8,95E-06	7,03E-06	8,20E-06	6,28E-06
Cinnabar, in ground	Raw	kg	8,22E-07	6,51E-07	7,57E-07	5,86E-07
Clay, bentonite, in ground	Raw	kg	2,30E-01	1,88E-01	2,04E-01	1,62E-01
Clay, unspecified, in ground	Raw	kg	5,21E+00	4,33E+00	4,87E+00	4,00E+00
Coal, 18 MJ per kg, in ground	Raw	kg	9,51E-02	9,51E-02	9,51E-02	9,51E-02
Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	Raw	kg	4,35E-02	4,35E-02	4,35E-02	4,35E-02
Coal, brown, in ground	Raw	kg	1,55E+01	1,31E+01	1,49E+01	1,24E+01

Quadro 9: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continua)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>INPUTS</b>						
Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	kg	2,59E+01	2,21E+01	2,39E+01	2,00E+01
Cobalt, in ground	Raw	kg	2,10E-06	1,57E-06	1,80E-06	1,28E-06
Colemanite, in ground	Raw	kg	8,17E-04	6,49E-04	7,81E-04	6,12E-04
Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,25E-02	1,08E-02	1,18E-02	1,01E-02
Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	kg	6,89E-02	5,95E-02	6,51E-02	5,57E-02
Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,83E-02	1,58E-02	1,73E-02	1,48E-02
Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	kg	9,13E-02	7,87E-02	8,63E-02	7,37E-02
Copper, in ground	Raw	kg	2,69E-05	2,69E-05	2,69E-05	2,69E-05
Diatomite, in ground	Raw	kg	2,07E-07	1,37E-07	1,75E-07	1,05E-07
Dolomite, in ground	Raw	kg	3,40E-02	2,89E-02	3,03E-02	2,52E-02
Energy, from coal	Raw	MJ	1,82E-01	1,82E-01	1,82E-01	1,82E-01
Energy, from coal, brown	Raw	MJ	1,36E-02	1,36E-02	1,36E-02	1,36E-02
Energy, from gas, natural	Raw	MJ	9,46E-01	9,46E-01	9,46E-01	9,46E-01
Energy, from hydro power	Raw	MJ	1,02E-02	1,02E-02	1,02E-02	1,02E-02
Energy, from oil	Raw	MJ	2,64E-01	2,64E-01	2,64E-01	2,64E-01
Energy, from uranium	Raw	MJ	3,21E-02	3,21E-02	3,21E-02	3,21E-02
Energy, gross calorific value, in biomass	Raw	MJ	3,79E+02	3,74E+02	3,77E+02	3,73E+02
Energy, gross calorific value, in biomass, primary forest	Raw	MJ	1,30E+03	5,04E+02	7,99E+02	2,59E+01
Energy, kinetic (in wind), converted	Raw	MJ	6,62E+00	5,58E+00	6,32E+00	5,28E+00
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	Raw	MJ	2,60E+02	2,36E+02	2,51E+02	2,26E+02
Energy, solar, converted	Raw	MJ	1,10E-01	9,19E-02	1,04E-01	8,58E-02
Feldspar, in ground	Raw	kg	7,20E-08	6,62E-08	7,08E-08	6,50E-08
Fluorine, 4.5% in apatite, 1% in crude ore, in ground	Raw	kg	4,85E-03	4,65E-03	4,79E-03	4,59E-03
Fluorine, 4.5% in apatite, 3% in crude ore, in ground	Raw	kg	2,15E+00	1,80E+00	2,03E+00	1,68E+00
Fluorspar, 92%, in ground	Raw	kg	3,53E-02	2,96E-02	3,35E-02	2,77E-02
Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	Raw	kg	3,13E-10	2,61E-10	2,96E-10	2,44E-10
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/kg	Raw	kg	5,55E-05	5,55E-05	5,55E-05	5,55E-05
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	m3	2,51E-01	2,14E-01	2,32E-01	1,94E-01
Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	Raw	m3	4,76E-01	4,76E-01	4,76E-01	4,76E-01

Quadro 10: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>INPUTS</b>						
Gas, natural, in ground	Raw	m3	5,48E+01	4,99E+01	5,72E+01	5,23E+01
Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground	Raw	m3	6,50E-03	6,50E-03	6,50E-03	6,50E-03
Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground	Raw	kg	4,77E-07	3,57E-07	4,52E-07	3,32E-07
Gold, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, in ore, in ground	Raw	kg	8,74E-07	6,54E-07	8,29E-07	6,09E-07
Gold, Au 1.4E-4%, in ore, in ground	Raw	kg	1,05E-06	7,83E-07	9,93E-07	7,30E-07
Gold, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, in ore, in ground	Raw	kg	1,60E-06	1,20E-06	1,52E-06	1,11E-06
Gold, Au 4.3E-4%, in ore, in ground	Raw	kg	3,96E-07	2,97E-07	3,76E-07	2,76E-07
Gold, Au 4.9E-5%, in ore, in ground	Raw	kg	9,49E-07	7,10E-07	9,00E-07	6,62E-07
Gold, Au 6.7E-4%, in ore, in ground	Raw	kg	1,47E-06	1,10E-06	1,39E-06	1,02E-06
Gold, Au 7.1E-4%, in ore, in ground	Raw	kg	1,66E-06	1,24E-06	1,57E-06	1,16E-06
Gold, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Raw	kg	9,92E-08	7,43E-08	9,42E-08	6,92E-08
Granite, in ground	Raw	kg	6,71E-10	5,25E-10	6,20E-10	4,73E-10
Gravel, in ground	Raw	kg	2,87E+02	2,07E+02	2,30E+02	1,50E+02
Gypsum, in ground	Raw	kg	2,95E-05	2,25E-05	2,63E-05	1,93E-05
Helium, 0.08% in natural gas, in ground	Raw	kg	1,58E-09	1,32E-09	1,49E-09	1,23E-09
Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	Raw	kg	1,08E-05	7,21E-06	8,73E-06	5,09E-06
Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,61E+01	1,32E+01	1,42E+01	1,13E+01
Iron, in ground	Raw	kg	4,53E-03	4,53E-03	4,53E-03	4,53E-03
Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	Raw	kg	4,02E-03	2,89E-03	3,50E-03	2,37E-03
Kieserite, 25% in crude ore, in ground	Raw	kg	5,61E-05	3,79E-05	4,78E-05	2,96E-05
Land use II-III	Raw	m2a	1,52E-03	1,52E-03	1,52E-03	1,52E-03
Land use II-III, sea floor	Raw	m2a	9,59E-03	9,59E-03	9,59E-03	9,59E-03
Land use II-IV	Raw	m2a	1,15E-03	1,15E-03	1,15E-03	1,15E-03
Land use II-IV, sea floor	Raw	m2a	9,90E-04	9,90E-04	9,90E-04	9,90E-04
Land use III-IV	Raw	m2a	1,92E-03	1,92E-03	1,92E-03	1,92E-03
Land use IV-IV	Raw	m2a	3,74E-05	3,74E-05	3,74E-05	3,74E-05
Lanthanum, 7.2% in bastnasite, 0.72% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,13E-19	8,95E-20	1,01E-19	7,72E-20
Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground	Raw	kg	4,48E-02	3,11E-02	3,82E-02	2,44E-02

Quadro 11: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>INPUTS</b>						
Lead, in ground	Raw	kg	2,52E-05	2,52E-05	2,52E-05	2,52E-05
Magnesite, 60% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,60E-01	1,28E-01	1,40E-01	1,08E-01
Magnesium, 0.13% in water	Raw	kg	3,31E-06	2,85E-06	3,20E-06	2,74E-06
Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground	Raw	kg	2,69E-02	2,64E-02	2,37E-02	2,32E-02
Manganese, in ground	Raw	kg	1,60E-06	1,60E-06	1,60E-06	1,60E-06
Marl, in ground	Raw	kg	2,11E-03	2,11E-03	2,11E-03	2,11E-03
Metamorphous rock, graphite containing, in ground	Raw	kg	5,42E-04	4,46E-04	4,77E-04	3,80E-04
Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,70E-03	1,46E-03	1,60E-03	1,37E-03
Molybdenum, 0.014% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.81% in crude ore, in ground	Raw	kg	2,40E-04	2,07E-04	2,27E-04	1,94E-04
Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Raw	kg	9,41E-03	9,24E-03	8,29E-03	8,12E-03
Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% in crude ore, in ground	Raw	kg	8,80E-04	7,59E-04	8,32E-04	7,11E-04
Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 4.1E-2% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,90E-02	1,87E-02	1,67E-02	1,64E-02
Molybdenum, in ground	Raw	kg	7,04E-11	7,04E-11	7,04E-11	7,04E-11
Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground	Raw	kg	4,30E-01	3,87E-01	4,01E-01	3,57E-01
Nickel, in ground	Raw	kg	2,24E-06	2,24E-06	2,24E-06	2,24E-06
Occupation, arable	Raw	m2a	1,38E+00	1,38E+00	1,38E+00	1,38E+00
Occupation, arable, non-irrigated	Raw	m2a	1,06E+03	1,12E+03	1,02E+03	1,07E+03
Occupation, construction site	Raw	m2a	2,19E+00	2,03E+00	2,09E+00	1,92E+00
Occupation, dump site	Raw	m2a	6,50E-01	5,59E-01	6,04E-01	5,14E-01
Occupation, dump site, benthos	Raw	m2a	3,94E-02	3,36E-02	3,76E-02	3,19E-02
Occupation, forest, intensive	Raw	m2a	2,12E-01	1,74E-01	1,97E-01	1,59E-01
Occupation, forest, intensive, normal	Raw	m2a	2,18E+01	2,13E+01	2,16E+01	2,12E+01
Occupation, forest, intensive, short-cycle	Raw	m2a	8,40E-02	6,99E-02	7,89E-02	6,49E-02
Occupation, industrial area	Raw	m2a	3,75E-01	3,11E-01	3,45E-01	2,82E-01
Occupation, industrial area, benthos	Raw	m2a	3,43E-04	2,91E-04	3,28E-04	2,75E-04
Occupation, industrial area, built up	Raw	m2a	3,10E+01	3,10E+01	3,10E+01	3,10E+01
Occupation, industrial area, vegetation	Raw	m2a	8,86E-02	7,10E-02	8,21E-02	6,45E-02
Occupation, mineral extraction site	Raw	m2a	5,46E-01	4,49E-01	5,04E-01	4,07E-01

Quadro 12: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>INPUTS</b>						
Occupation, permanent crop, fruit, intensive	Raw	m2a	4,99E-03	3,49E-03	4,39E-03	2,89E-03
Occupation, shrub land, sclerophyllous	Raw	m2a	3,52E-02	2,89E-02	3,25E-02	2,62E-02
Occupation, traffic area, rail embankment	Raw	m2a	4,44E-01	5,24E-01	3,66E-01	4,46E-01
Occupation, traffic area, rail network	Raw	m2a	4,91E-01	5,79E-01	4,05E-01	4,93E-01
Occupation, traffic area, road embankment	Raw	m2a	4,85E-01	3,54E-01	4,38E-01	3,08E-01
Occupation, traffic area, road network	Raw	m2a	1,67E+00	1,00E+00	1,43E+00	7,52E-01
Occupation, urban, discontinuously built	Raw	m2a	3,77E-03	3,74E-03	3,76E-03	3,73E-03
Occupation, water bodies, artificial	Raw	m2a	1,51E+00	1,44E+00	1,47E+00	1,40E+00
Occupation, water courses, artificial	Raw	m2a	1,72E-01	1,29E-01	1,55E-01	1,11E-01
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	Raw	kg	1,78E-01	1,78E-01	1,78E-01	1,78E-01
Oil, crude, in ground	Raw	kg	9,95E+01	7,56E+01	8,78E+01	6,38E+01
Olivine, in ground	Raw	kg	2,37E-06	1,79E-06	2,05E-06	1,47E-06
Palladium, in ground	Raw	kg	1,74E-11	1,74E-11	1,74E-11	1,74E-11
Pd, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Raw	kg	2,22E-07	1,78E-07	2,10E-07	1,66E-07
Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Raw	kg	5,35E-07	4,29E-07	5,06E-07	4,00E-07
Peat, in ground	Raw	kg	2,54E-03	1,84E-03	2,22E-03	1,52E-03
Phosphate ore, in ground	Raw	kg	6,89E-02	6,89E-02	6,89E-02	6,89E-02
Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	Raw	kg	4,82E+01	4,68E+01	4,77E+01	4,63E+01
Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,94E-02	1,86E-02	1,92E-02	1,84E-02
Platinum, in ground	Raw	kg	2,03E-11	2,03E-11	2,03E-11	2,03E-11
Praseodymium, 0.42% in bastnasite, 0.042% in crude ore, in ground	Raw	kg	2,11E-21	1,65E-21	1,87E-21	1,42E-21
Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Raw	kg	5,07E-09	4,34E-09	4,82E-09	4,09E-09
Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Raw	kg	1,82E-08	1,55E-08	1,73E-08	1,46E-08
Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Raw	kg	2,99E-09	2,52E-09	2,83E-09	2,35E-09
Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Raw	kg	9,38E-09	7,89E-09	8,86E-09	7,37E-09
Rhenium, in crude ore, in ground	Raw	kg	3,98E-09	3,09E-09	3,54E-09	2,64E-09
Rhenium, in ground	Raw	kg	1,68E-11	1,68E-11	1,68E-11	1,68E-11
Rhodium, in ground	Raw	kg	1,86E-11	1,86E-11	1,86E-11	1,86E-11

Quadro 13: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>INPUTS</b>						
Samarium, 0.3% in bastnasite, 0.03% in crude ore, in ground	Raw	kg	-1,05E-22	-8,95E-23	-9,85E-23	-8,29E-23
Sand, unspecified, in ground	Raw	kg	3,42E-03	3,35E-03	3,39E-03	3,33E-03
Shale, in ground	Raw	kg	1,63E-05	1,26E-05	1,43E-05	1,05E-05
Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground	Raw	kg	1,05E-05	7,90E-06	1,00E-05	7,36E-06
Silver, 3.2ppm in sulfide, Ag 1.2ppm, Cu and Te, in crude ore, in ground	Raw	kg	7,52E-06	5,63E-06	7,14E-06	5,25E-06
Silver, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, in ore, in ground	Raw	kg	6,95E-07	5,20E-07	6,59E-07	4,85E-07
Silver, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, in ore, in ground	Raw	kg	1,59E-06	1,19E-06	1,50E-06	1,11E-06
Silver, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, in ore, in ground	Raw	kg	1,55E-06	1,16E-06	1,48E-06	1,08E-06
Silver, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Raw	kg	1,03E-06	7,68E-07	9,73E-07	7,16E-07
Silver, in ground	Raw	kg	3,39E-07	3,39E-07	3,39E-07	3,39E-07
Sodium chloride, in ground	Raw	kg	1,05E+00	7,18E-01	9,28E-01	5,97E-01
Sodium nitrate, in ground	Raw	kg	9,10E-10	7,00E-10	7,94E-10	5,84E-10
Sodium sulphate, various forms, in ground	Raw	kg	9,67E-03	8,10E-03	9,18E-03	7,60E-03
Stibnite, in ground	Raw	kg	2,15E-08	1,42E-08	1,82E-08	1,09E-08
Sulfur, in ground	Raw	kg	4,79E-03	4,74E-03	4,77E-03	4,72E-03
Sylvite, 25 % in sylvinitite, in ground	Raw	kg	3,40E+01	2,85E+01	3,20E+01	2,65E+01
Talc, in ground	Raw	kg	1,07E-04	8,61E-05	1,00E-04	7,91E-05
Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	Raw	kg	8,32E-06	6,23E-06	7,89E-06	5,80E-06
Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground	Raw	kg	1,13E-06	8,45E-07	1,07E-06	7,87E-07
Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground	Raw	kg	4,62E-04	3,46E-04	4,35E-04	3,20E-04
Tin, in ground	Raw	kg	1,88E-07	1,88E-07	1,88E-07	1,88E-07
TiO2, 54% in ilmenite, 2.6% in crude ore, in ground	Raw	kg	4,35E-02	3,44E-02	3,87E-02	2,96E-02
TiO2, 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground	Raw	kg	7,25E-07	5,65E-07	6,12E-07	4,52E-07
Transformation, from arable	Raw	m2	2,15E-04	1,82E-04	1,95E-04	1,62E-04
Transformation, from arable, non-irrigated	Raw	m2	2,10E+03	2,24E+03	2,01E+03	2,15E+03
Transformation, from arable, non-irrigated, fallow	Raw	m2	4,56E-05	3,76E-05	4,02E-05	3,22E-05
Transformation, from dump site, inert material landfill	Raw	m2	1,37E-03	1,02E-03	1,18E-03	8,30E-04
Transformation, from dump site, residual material landfill	Raw	m2	5,64E-03	4,73E-03	5,30E-03	4,39E-03

Quadro 14: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>INPUTS</b>						
Transformation, from dump site, sanitary landfill	Raw	m2	1,24E-05	1,12E-05	1,21E-05	1,08E-05
Transformation, from dump site, slag compartment	Raw	m2	8,06E-06	6,66E-06	7,42E-06	6,02E-06
Transformation, from forest	Raw	m2	1,27E-01	1,04E-01	1,17E-01	9,42E-02
Transformation, from forest, extensive	Raw	m2	1,69E-01	1,66E-01	1,68E-01	1,64E-01
Transformation, from forest, intensive, clear-cutting	Raw	m2	9,22E+00	3,53E+00	5,69E+00	2,32E-03
Transformation, from industrial area	Raw	m2	3,95E-04	3,53E-04	3,99E-04	3,56E-04
Transformation, from industrial area, benthos	Raw	m2	1,53E-06	1,43E-06	1,63E-06	1,54E-06
Transformation, from industrial area, built up	Raw	m2	6,93E-06	6,64E-06	6,84E-06	6,55E-06
Transformation, from industrial area, vegetation	Raw	m2	1,18E-05	1,13E-05	1,17E-05	1,12E-05
Transformation, from mineral extraction site	Raw	m2	2,42E-02	1,95E-02	2,21E-02	1,75E-02
Transformation, from pasture and meadow	Raw	m2	3,79E-02	3,36E-02	3,62E-02	3,19E-02
Transformation, from pasture and meadow, intensive	Raw	m2	9,06E-05	7,20E-05	7,90E-05	6,04E-05
Transformation, from sea and ocean	Raw	m2	3,94E-02	3,37E-02	3,77E-02	3,19E-02
Transformation, from shrub land, sclerophyllous	Raw	m2	3,08E+01	1,19E+01	1,89E+01	7,93E-03
Transformation, from tropical rain forest	Raw	m2	9,28E+00	3,59E+00	5,69E+00	2,32E-03
Transformation, from unknown	Raw	m2	1,21E-01	8,99E-02	9,96E-02	6,86E-02
Transformation, to arable	Raw	m2	3,40E-03	3,10E-03	3,51E-03	3,20E-03
Transformation, to arable, non-irrigated	Raw	m2	2,14E+03	2,25E+03	2,03E+03	2,15E+03
Transformation, to arable, non-irrigated, fallow	Raw	m2	6,84E-05	5,65E-05	6,13E-05	4,94E-05
Transformation, to dump site	Raw	m2	3,68E-03	3,20E-03	3,41E-03	2,94E-03
Transformation, to dump site, benthos	Raw	m2	3,94E-02	3,36E-02	3,76E-02	3,19E-02
Transformation, to dump site, inert material landfill	Raw	m2	1,37E-03	1,02E-03	1,18E-03	8,30E-04
Transformation, to dump site, residual material landfill	Raw	m2	5,64E-03	4,73E-03	5,30E-03	4,39E-03
Transformation, to dump site, sanitary landfill	Raw	m2	1,24E-05	1,12E-05	1,21E-05	1,08E-05
Transformation, to dump site, slag compartment	Raw	m2	8,06E-06	6,66E-06	7,42E-06	6,02E-06
Transformation, to forest	Raw	m2	1,66E-02	1,30E-02	1,48E-02	1,13E-02
Transformation, to forest, intensive	Raw	m2	1,42E-03	1,16E-03	1,31E-03	1,06E-03
Transformation, to forest, intensive, clear-cutting	Raw	m2	9,28E+00	3,59E+00	5,69E+00	2,32E-03

Quadro 15: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)



Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>INPUTS</b>						
Transformation, to forest, intensive, normal	Raw	m2	1,66E-01	1,63E-01	1,65E-01	1,62E-01
Transformation, to forest, intensive, short-cycle	Raw	m2	3,00E-03	2,50E-03	2,82E-03	2,32E-03
Transformation, to heterogeneous, agricultural	Raw	m2	5,67E-03	4,56E-03	5,17E-03	4,05E-03
Transformation, to industrial area	Raw	m2	3,76E-03	3,37E-03	3,60E-03	3,21E-03
Transformation, to industrial area, benthos	Raw	m2	3,67E-05	2,85E-05	3,45E-05	2,64E-05
Transformation, to industrial area, built up	Raw	m2	1,68E-02	1,61E-02	1,67E-02	1,60E-02
Transformation, to industrial area, vegetation	Raw	m2	1,90E-03	1,53E-03	1,76E-03	1,38E-03
Transformation, to mineral extraction site	Raw	m2	2,07E-01	1,61E-01	1,81E-01	1,34E-01
Transformation, to pasture and meadow	Raw	m2	1,34E-02	1,13E-02	1,27E-02	1,05E-02
Transformation, to permanent crop, fruit, intensive	Raw	m2	7,03E-05	4,91E-05	6,18E-05	4,06E-05
Transformation, to sea and ocean	Raw	m2	1,53E-06	1,43E-06	1,63E-06	1,54E-06
Transformation, to shrub land, sclerophyllous	Raw	m2	7,03E-03	5,77E-03	6,50E-03	5,24E-03
Transformation, to traffic area, rail embankment	Raw	m2	1,03E-03	1,22E-03	8,52E-04	1,04E-03
Transformation, to traffic area, rail network	Raw	m2	1,14E-03	1,34E-03	9,36E-04	1,14E-03
Transformation, to traffic area, road embankment	Raw	m2	2,33E-03	1,98E-03	2,20E-03	1,85E-03
Transformation, to traffic area, road network	Raw	m2	7,50E-03	5,59E-03	6,69E-03	4,77E-03
Transformation, to unknown	Raw	m2	7,24E-04	5,73E-04	6,79E-04	5,28E-04
Transformation, to urban, discontinuously built	Raw	m2	7,51E-05	7,46E-05	7,49E-05	7,44E-05
Transformation, to water bodies, artificial	Raw	m2	2,62E-02	2,11E-02	2,27E-02	1,76E-02
Transformation, to water courses, artificial	Raw	m2	1,85E-03	1,41E-03	1,68E-03	1,23E-03
Ulexite, in ground	Raw	kg	1,63E-05	1,33E-05	1,55E-05	1,26E-05
Uranium, 451 GJ per kg, in ground	Raw	kg	2,58E-06	2,58E-06	2,58E-06	2,58E-06
Uranium, 560 GJ per kg, in ground	Raw	kg	2,44E-07	2,44E-07	2,44E-07	2,44E-07
Uranium, in ground	Raw	kg	1,21E-03	1,02E-03	1,14E-03	9,47E-04
Vermiculite, in ground	Raw	kg	4,95E-05	4,83E-05	4,89E-05	4,77E-05
Volume occupied, final repository for low-active radioactive waste	Raw	m3	2,48E-06	2,10E-06	2,33E-06	1,94E-06
Volume occupied, final repository for radioactive waste	Raw	m3	6,02E-07	5,11E-07	5,66E-07	4,76E-07
Volume occupied, reservoir	Raw	m3y	7,17E+00	6,80E+00	7,01E+00	6,65E+00

Quadro 16: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>INPUTS</b>						
Volume occupied, underground deposit	Raw	m3	1,28E-05	9,94E-06	1,13E-05	8,43E-06
Water, cooling, unspecified natural origin/m3	Raw	m3	3,26E+00	2,69E+00	3,05E+00	2,48E+00
Water, lake	Raw	m3	5,20E-02	5,07E-02	5,13E-02	5,00E-02
Water, river	Raw	m3	7,85E-01	6,76E-01	7,41E-01	6,32E-01
Water, salt, ocean	Raw	m3	1,26E-01	1,10E-01	1,23E-01	1,07E-01
Water, salt, sole	Raw	m3	6,95E-02	5,44E-02	6,20E-02	4,69E-02
Water, turbine use, unspecified natural origin	Raw	m3	1,31E+03	1,11E+03	1,24E+03	1,05E+03
Water, unspecified natural origin/kg	Raw	kg	2,97E+00	2,97E+00	2,97E+00	2,97E+00
Water, unspecified natural origin/m3	Raw	m3	2,48E+00	2,01E+00	2,26E+00	1,79E+00
Water, well, in ground	Raw	m3	3,63E-01	3,12E-01	3,45E-01	2,93E-01
Wood, dry matter	Raw	kg	1,62E-04	1,62E-04	1,62E-04	1,62E-04
Wood, hard, standing	Raw	m3	1,00E-02	9,93E-03	9,99E-03	9,89E-03
Wood, primary forest, standing	Raw	m3	1,21E-01	4,67E-02	7,42E-02	2,40E-05
Wood, soft, standing	Raw	m3	2,61E-02	2,59E-02	2,61E-02	2,58E-02
Wood, unspecified, standing/m3	Raw	m3	1,86E-08	1,39E-08	1,64E-08	1,16E-08
Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground	Raw	kg	1,05E-01	8,66E-02	9,42E-02	7,54E-02
Zinc, in ground	Raw	kg	4,07E-07	4,07E-07	4,07E-07	4,07E-07
Zirconium, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,14E-05	8,55E-06	1,08E-05	7,96E-06
<b>OUTPUTS</b>						
1-Propanol	Air	kg	1,42E-09	1,19E-09	1,34E-09	1,11E-09
1,4-Butanediol	Air	kg	2,77E-09	2,07E-09	2,63E-09	1,93E-09
2-Propanol	Air	kg	5,18E-05	3,88E-05	4,91E-05	3,61E-05
Acenaphthene	Air	kg	1,31E-10	1,14E-10	1,26E-10	1,08E-10
Acetaldehyde	Air	kg	4,71E-02	1,85E-02	2,90E-02	4,60E-04
Acetic acid	Air	kg	3,04E-01	1,18E-01	1,87E-01	6,28E-04
Acetone	Air	kg	4,91E-02	1,90E-02	3,02E-02	1,20E-04
Acetonitrile	Air	kg	1,27E-02	4,91E-03	7,79E-03	2,52E-06
Acrolein	Air	kg	5,32E-07	4,76E-07	4,81E-07	4,26E-07

Quadro 17: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Acrylic acid	Air	kg	1,34E-07	1,00E-07	1,27E-07	9,35E-08
Actinides, radioactive, unspecified	Air	Bq	2,68E-02	2,18E-02	2,47E-02	1,97E-02
Aerosols, radioactive, unspecified	Air	Bq	4,54E-01	3,90E-01	4,31E-01	3,67E-01
Aldehydes, unspecified	Air	kg	2,22E-06	1,77E-06	2,01E-06	1,56E-06
Aluminum	Air	kg	1,26E-02	1,04E-02	1,18E-02	9,72E-03
Americium-241	Air	Bq	1,88E-06	1,88E-06	1,88E-06	1,88E-06
Ammonia	Air	kg	4,34E+00	4,10E+00	5,48E+00	5,24E+00
Ammonium carbonate	Air	kg	1,16E-07	1,08E-07	1,13E-07	1,04E-07
Antimony	Air	kg	7,34E-06	6,26E-06	6,94E-06	5,86E-06
Antimony-124	Air	Bq	1,54E-05	1,25E-05	1,40E-05	1,10E-05
Antimony-125	Air	Bq	1,61E-04	1,30E-04	1,45E-04	1,15E-04
Argon-41	Air	Bq	1,65E+02	1,38E+02	1,56E+02	1,29E+02
Arsenic	Air	kg	6,25E-05	5,45E-05	5,97E-05	5,17E-05
Arsine	Air	kg	1,56E-12	1,17E-12	1,48E-12	1,09E-12
Barium	Air	kg	1,71E-05	1,56E-05	1,65E-05	1,49E-05
Barium-140	Air	Bq	1,05E-02	8,48E-03	9,45E-03	7,48E-03
Benzal chloride	Air	kg	2,31E-14	1,83E-14	2,05E-14	1,57E-14
Benzaldehyde	Air	kg	2,69E-07	2,41E-07	2,43E-07	2,15E-07
Benzene	Air	kg	3,12E-02	1,38E-02	2,00E-02	2,60E-03
Benzene, ethyl-	Air	kg	1,43E-04	1,10E-04	1,27E-04	9,46E-05
Benzene, hexachloro-	Air	kg	1,09E-07	8,75E-08	9,61E-08	7,43E-08
Benzene, pentachloro-	Air	kg	2,82E-09	2,35E-09	2,64E-09	2,17E-09
Benzo(a)anthracene	Air	kg	1,23E-06	1,18E-06	1,26E-06	1,21E-06
Benzo(a)pyrene	Air	kg	8,67E-02	8,67E-02	8,67E-02	8,67E-02
Benzo(b)fluoranthene	Air	kg	7,71E-07	7,38E-07	7,89E-07	7,56E-07
Beryllium	Air	kg	1,68E-07	1,52E-07	1,59E-07	1,43E-07
Boron	Air	kg	4,37E-04	3,74E-04	4,19E-04	3,55E-04
Boron trifluoride	Air	kg	1,17E-14	8,73E-15	1,11E-14	8,13E-15

Quadro 18: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Bromine	Air	kg	6,56E-05	5,87E-05	6,36E-05	5,68E-05
Butadiene	Air	kg	1,55E-09	1,16E-09	1,47E-09	1,08E-09
Butane	Air	kg	7,31E-03	5,82E-03	6,73E-03	5,23E-03
Butanol	Air	kg	8,58E-12	6,43E-12	8,14E-12	5,99E-12
Butene	Air	kg	1,33E-04	1,00E-04	1,17E-04	8,48E-05
Butyrolactone	Air	kg	8,01E-10	6,00E-10	7,60E-10	5,59E-10
Cadmium	Air	kg	3,21E-05	2,83E-05	3,19E-05	2,81E-05
Calcium	Air	kg	2,10E-03	2,08E-03	2,10E-03	2,07E-03
Carbon-14	Air	Bq	2,27E+03	1,92E+03	2,13E+03	1,78E+03
Carbon dioxide	Air	kg	8,63E+00	8,63E+00	8,63E+00	8,63E+00
Carbon dioxide, biogenic	Air	kg	3,26E+01	3,23E+01	3,26E+01	3,22E+01
Carbon dioxide, fossil	Air	kg	4,44E+02	3,61E+02	4,11E+02	3,27E+02
Carbon dioxide, land transformation	Air	kg	1,15E+02	4,67E+01	7,19E+01	3,61E+00
Carbon disulfide	Air	kg	1,74E-03	1,55E-03	1,62E-03	1,43E-03
Carbon monoxide	Air	kg	1,22E-03	1,22E-03	1,22E-03	1,22E-03
Carbon monoxide, biogenic	Air	kg	8,01E-01	7,96E-01	7,97E-01	7,92E-01
Carbon monoxide, fossil	Air	kg	8,36E+00	3,71E+00	5,43E+00	7,80E-01
Cerium-141	Air	Bq	2,54E-03	2,06E-03	2,29E-03	1,81E-03
Cerium-144	Air	Bq	2,00E-05	2,00E-05	2,00E-05	2,00E-05
Cesium-134	Air	Bq	1,93E-04	1,70E-04	1,81E-04	1,58E-04
Cesium-137	Air	Bq	2,29E-03	1,88E-03	2,08E-03	1,68E-03
Chlorine	Air	kg	1,91E-04	1,56E-04	1,76E-04	1,40E-04
Chloroform	Air	kg	1,44E-07	1,10E-07	1,36E-07	1,02E-07
Chlorosilane, trimethyl-	Air	kg	2,41E-09	1,80E-09	2,28E-09	1,68E-09
Chromium	Air	kg	4,38E-04	3,96E-04	4,18E-04	3,77E-04
Chromium-51	Air	Bq	1,63E-04	1,32E-04	1,47E-04	1,16E-04
Chromium VI	Air	kg	1,06E-05	9,60E-06	1,01E-05	9,17E-06
Chrysene	Air	kg	3,08E-06	2,95E-06	3,16E-06	3,03E-06

Quadro 19: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Cobalt	Air	kg	3,10E-05	2,82E-05	3,28E-05	3,01E-05
Cobalt-57	Air	Bq	1,63E-10	1,63E-10	1,63E-10	1,63E-10
Cobalt-58	Air	Bq	2,29E-04	1,86E-04	2,07E-04	1,64E-04
Cobalt-60	Air	Bq	2,00E-03	1,62E-03	1,81E-03	1,43E-03
Copper	Air	kg	4,73E-04	3,74E-04	4,31E-04	3,32E-04
Cumene	Air	kg	3,39E-05	2,47E-05	2,89E-05	1,98E-05
Curium-242	Air	Bq	9,32E-12	9,32E-12	9,32E-12	9,32E-12
Curium-244	Air	Bq	8,47E-11	8,47E-11	8,47E-11	8,47E-11
Curium alpha	Air	Bq	2,98E-06	2,98E-06	2,98E-06	2,98E-06
Cyanide	Air	kg	2,12E-02	8,19E-03	1,30E-02	1,31E-05
Dibenz(a,h)anthracene	Air	kg	1,54E-07	1,48E-07	1,58E-07	1,51E-07
Dinitrogen monoxide	Air	kg	4,75E-01	4,68E-01	5,39E-01	5,32E-01
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	Air	kg	1,65E-10	1,38E-10	1,49E-10	1,21E-10
Ethane	Air	kg	9,50E-02	4,21E-02	6,26E-02	9,65E-03
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg	4,07E-08	3,39E-08	3,84E-08	3,17E-08
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg	2,58E-10	2,10E-10	2,38E-10	1,90E-10
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg	6,08E-08	4,92E-08	5,69E-08	4,52E-08
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg	6,36E-09	4,76E-09	6,03E-09	4,44E-09
Ethane, 1,2-dichloro-	Air	kg	6,96E-05	5,85E-05	6,57E-05	5,46E-05
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg	8,54E-07	7,06E-07	7,93E-07	6,45E-07
Ethane, dichloro-	Air	kg	1,64E-09	1,64E-09	1,64E-09	1,64E-09
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg	9,19E-06	7,53E-06	8,11E-06	6,44E-06
Ethanol	Air	kg	1,32E-03	5,75E-04	8,65E-04	1,21E-04
Ethene	Air	kg	1,37E-01	5,35E-02	8,46E-02	6,48E-04
Ethene, chloro-	Air	kg	3,50E-06	3,15E-06	3,43E-06	3,07E-06
Ethene, tetrachloro-	Air	kg	6,12E-10	4,97E-10	5,66E-10	4,51E-10
Ethyl acetate	Air	kg	2,40E-04	1,80E-04	2,28E-04	1,68E-04
Ethyl cellulose	Air	kg	4,87E-07	3,64E-07	4,62E-07	3,39E-07

Quadro 20: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Ethylene diamine	Air	kg	7,40E-10	4,23E-10	6,24E-10	3,07E-10
Ethylene oxide	Air	kg	1,47E-06	1,33E-06	1,41E-06	1,26E-06
Ethyne	Air	kg	2,84E-02	1,10E-02	1,74E-02	4,94E-05
Fluoranthene	Air	kg	6,94E-06	6,64E-06	7,10E-06	6,81E-06
Fluoride	Air	kg	6,07E-04	6,07E-04	6,07E-04	6,07E-04
Fluorine	Air	kg	2,58E-05	2,48E-05	2,51E-05	2,41E-05
Fluosilicic acid	Air	kg	1,02E-05	8,41E-06	8,99E-06	7,17E-06
Formaldehyde	Air	kg	7,75E-02	3,07E-02	4,80E-02	1,21E-03
Formic acid	Air	kg	8,49E-02	3,28E-02	5,21E-02	1,71E-05
Furan	Air	kg	2,41E-02	9,32E-03	1,48E-02	4,78E-06
Heat, waste	Air	MJ	8,09E+03	6,82E+03	7,63E+03	6,36E+03
Helium	Air	kg	4,22E-04	2,88E-04	3,59E-04	2,26E-04
Heptane	Air	kg	2,59E-03	2,27E-03	2,44E-03	2,11E-03
Hexane	Air	kg	6,17E-01	6,16E-01	6,17E-01	6,16E-01
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic	Air	kg	6,50E-03	6,50E-03	6,50E-03	6,50E-03
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	Air	kg	3,51E-03	3,00E-03	3,27E-03	2,76E-03
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspecified	Air	kg	4,29E-08	4,29E-08	4,29E-08	4,29E-08
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	Air	kg	1,15E-03	1,13E-03	1,14E-03	1,12E-03
Hydrocarbons, aromatic	Air	kg	8,82E-04	7,53E-04	8,38E-04	7,09E-04
Hydrocarbons, chlorinated	Air	kg	6,02E-06	4,92E-06	5,52E-06	4,42E-06
Hydrocarbons, unspecified	Air	kg	2,92E-02	2,80E-02	2,99E-02	2,87E-02
Hydrogen	Air	kg	1,08E-03	8,93E-04	1,02E-03	8,28E-04
Hydrogen-3, Tritium	Air	Bq	1,12E+04	9,58E+03	1,06E+04	8,97E+03
Hydrogen chloride	Air	kg	8,24E-03	7,33E-03	7,92E-03	7,01E-03
Hydrogen fluoride	Air	kg	4,09E-03	3,45E-03	3,86E-03	3,21E-03
Hydrogen peroxide	Air	kg	3,60E-07	2,70E-07	3,42E-07	2,51E-07
Hydrogen sulfide	Air	kg	1,57E-03	1,42E-03	1,60E-03	1,46E-03
Iodine	Air	kg	2,45E-05	2,09E-05	2,35E-05	1,99E-05

Quadro 21: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Iodine-129	Air	Bq	2,03E+00	1,73E+00	1,92E+00	1,62E+00
Iodine-131	Air	Bq	6,33E+01	5,30E+01	6,01E+01	4,99E+01
Iodine-133	Air	Bq	1,53E-02	1,24E-02	1,39E-02	1,10E-02
Iodine-135	Air	Bq	5,94E-03	4,87E-03	5,53E-03	4,46E-03
Iron	Air	kg	5,46E-04	5,03E-04	5,29E-04	4,85E-04
Iron-59	Air	Bq	3,69E-09	3,69E-09	3,69E-09	3,69E-09
Isocyanic acid	Air	kg	3,94E-06	4,43E-06	3,32E-06	3,81E-06
Isoprene	Air	kg	1,12E-03	4,32E-04	6,86E-04	2,22E-07
Krypton-85	Air	Bq	9,77E+03	9,68E+03	9,74E+03	9,66E+03
Krypton-85m	Air	Bq	1,58E+02	1,29E+02	1,44E+02	1,14E+02
Krypton-87	Air	Bq	3,95E+01	3,22E+01	3,60E+01	2,87E+01
Krypton-88	Air	Bq	4,94E+01	4,02E+01	4,49E+01	3,57E+01
Krypton-89	Air	Bq	1,92E+01	1,56E+01	1,74E+01	1,38E+01
Lanthanum	Air	kg	9,90E-11	9,90E-11	9,90E-11	9,90E-11
Lanthanum-140	Air	Bq	8,94E-04	7,25E-04	8,08E-04	6,39E-04
Lead	Air	kg	2,87E-04	2,44E-04	2,68E-04	2,25E-04
Lead-210	Air	Bq	6,73E+01	5,70E+01	6,37E+01	5,33E+01
m-Xylene	Air	kg	3,97E-05	3,95E-05	3,96E-05	3,94E-05
Magnesium	Air	kg	4,62E-04	4,41E-04	4,51E-04	4,30E-04
Manganese	Air	kg	9,91E-05	9,29E-05	9,58E-05	8,96E-05
Manganese-54	Air	Bq	8,33E-05	6,76E-05	7,53E-05	5,96E-05
Mercury	Air	kg	1,87E-05	1,52E-05	1,68E-05	1,32E-05
Methane	Air	kg	4,08E-03	4,08E-03	4,08E-03	4,08E-03
Methane, biogenic	Air	kg	7,69E-02	7,66E-02	7,68E-02	7,65E-02
Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg	5,28E-15	4,18E-15	4,69E-15	3,58E-15
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg	2,49E-06	2,33E-06	2,66E-06	2,50E-06
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg	3,98E-06	2,93E-06	3,47E-06	2,42E-06
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg	9,15E-06	8,51E-06	9,71E-06	9,07E-06

Quadro 22: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	Air	kg	1,03E-11	1,03E-11	1,03E-11	1,03E-11
Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg	9,90E-09	8,04E-09	9,30E-09	7,43E-09
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg	3,39E-08	2,87E-08	3,55E-08	3,02E-08
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg	6,34E-08	6,34E-08	6,34E-08	6,34E-08
Methane, fossil	Air	kg	1,18E+00	7,58E-01	9,62E-01	5,38E-01
Methane, monochloro-, R-40	Air	kg	6,97E-09	5,66E-09	6,42E-09	5,12E-09
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg	3,00E-07	2,34E-07	2,73E-07	2,07E-07
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg	7,88E-05	6,48E-05	6,92E-05	5,52E-05
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg	1,45E-10	1,28E-10	1,41E-10	1,24E-10
Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg	1,34E-08	1,01E-08	1,27E-08	9,36E-09
Methanol	Air	kg	1,49E-01	5,77E-02	9,14E-02	3,70E-04
Methyl acrylate	Air	kg	1,52E-07	1,14E-07	1,44E-07	1,06E-07
Methyl amine	Air	kg	2,89E-10	2,16E-10	2,74E-10	2,01E-10
Methyl borate	Air	kg	5,13E-14	3,84E-14	4,87E-14	3,58E-14
Methyl ethyl ketone	Air	kg	2,40E-04	1,80E-04	2,28E-04	1,68E-04
Methyl formate	Air	kg	5,90E-10	4,42E-10	5,59E-10	4,11E-10
Molybdenum	Air	kg	7,87E-06	7,18E-06	8,25E-06	7,57E-06
Monoethanolamine	Air	kg	7,85E-06	5,94E-06	7,42E-06	5,51E-06
Neptunium-237	Air	Bq	9,85E-11	9,85E-11	9,85E-11	9,85E-11
Nickel	Air	kg	4,19E-04	3,76E-04	4,29E-04	3,86E-04
Niobium-95	Air	Bq	9,90E-06	8,03E-06	8,95E-06	7,08E-06
Nitrate	Air	kg	5,28E-07	4,35E-07	4,97E-07	4,04E-07
Nitrogen	Air	kg	5,87E-05	5,87E-05	5,87E-05	5,87E-05
Nitrogen oxides	Air	kg	2,83E+00	2,24E+00	2,44E+00	1,86E+00
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Air	kg	3,82E-01	3,00E-01	3,27E-01	2,44E-01
Noble gases, radioactive, unspecified	Air	Bq	1,95E+07	1,66E+07	1,84E+07	1,55E+07
Ozone	Air	kg	7,70E-04	6,75E-04	7,35E-04	6,40E-04
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	kg	6,76E-05	5,66E-05	6,26E-05	5,16E-05

Quadro 23: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)



Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Paraffins	Air	kg	1,29E-10	1,05E-10	1,20E-10	9,67E-11
Particulates	Air	kg	8,11E-03	8,11E-03	8,11E-03	8,11E-03
Particulates, < 10 um (mobile)	Air	kg	8,28E-05	8,28E-05	8,28E-05	8,28E-05
Particulates, < 10 um (stationary)	Air	kg	3,57E-05	3,57E-05	3,57E-05	3,57E-05
Particulates, < 2.5 um	Air	kg	8,31E-01	4,16E-01	5,76E-01	1,60E-01
Particulates, > 10 um	Air	kg	2,69E-01	2,30E-01	2,50E-01	2,11E-01
Particulates, > 10 um (process)	Air	kg	4,25E-05	4,25E-05	4,25E-05	4,25E-05
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	Air	kg	2,21E-01	1,70E-01	1,84E-01	1,33E-01
Particulates, diesel soot	Air	kg	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04
Particulates, unspecified	Air	kg	9,22E-06	9,22E-06	9,22E-06	9,22E-06
Pentane	Air	kg	9,22E-03	7,33E-03	8,48E-03	6,60E-03
Phenanthrene	Air	kg	3,85E-05	3,69E-05	3,95E-05	3,78E-05
Phenol	Air	kg	4,08E-04	1,62E-04	2,53E-04	7,45E-06
Phenol, pentachloro-	Air	kg	4,25E-07	3,72E-07	4,09E-07	3,56E-07
Phosphine	Air	kg	1,16E-10	8,67E-11	1,10E-10	8,08E-11
Phosphorus	Air	kg	1,06E-04	1,05E-04	1,06E-04	1,05E-04
Phosphorus, total	Air	kg	1,16E-07	1,16E-07	1,16E-07	1,16E-07
Platinum	Air	kg	1,40E-10	1,37E-10	1,39E-10	1,35E-10
Plutonium-238	Air	Bq	2,77E-07	2,36E-07	2,62E-07	2,21E-07
Plutonium-241	Air	Bq	1,89E-02	1,89E-02	1,89E-02	1,89E-02
Plutonium-alpha	Air	Bq	6,60E-06	6,51E-06	6,57E-06	6,47E-06
Polonium-210	Air	Bq	7,93E+01	6,74E+01	7,51E+01	6,32E+01
Polychlorinated biphenyls	Air	kg	2,10E-07	1,69E-07	1,84E-07	1,44E-07
Potassium	Air	kg	7,86E-03	7,80E-03	7,84E-03	7,79E-03
Potassium-40	Air	Bq	3,02E+00	2,68E+00	2,90E+00	2,56E+00
Promethium-147	Air	Bq	5,07E-05	5,07E-05	5,07E-05	5,07E-05
Propanal	Air	kg	2,64E-07	2,36E-07	2,38E-07	2,10E-07
Propane	Air	kg	8,22E-02	3,55E-02	5,33E-02	6,63E-03

Quadro 24: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Propene	Air	kg	9,62E-02	3,73E-02	5,91E-02	2,58E-04
Propionic acid	Air	kg	2,94E-05	2,77E-05	3,16E-05	2,99E-05
Propylene oxide	Air	kg	2,22E-05	1,24E-05	1,77E-05	7,86E-06
Protactinium-234	Air	Bq	2,96E-01	2,50E-01	2,78E-01	2,32E-01
Radioactive species, other beta emitters	Air	Bq	3,32E+02	2,19E+02	2,81E+02	1,68E+02
Radium-226	Air	Bq	1,09E+02	9,18E+01	1,03E+02	8,56E+01
Radium-228	Air	Bq	5,70E+00	5,40E+00	5,55E+00	5,25E+00
Radon-220	Air	Bq	6,72E+01	5,71E+01	6,42E+01	5,41E+01
Radon-222	Air	Bq	3,91E+07	3,31E+07	3,67E+07	3,07E+07
Ruthenium-103	Air	Bq	2,17E-06	1,76E-06	1,96E-06	1,55E-06
Ruthenium-106	Air	Bq	5,97E-04	5,97E-04	5,97E-04	5,97E-04
Scandium	Air	kg	1,23E-07	1,14E-07	1,18E-07	1,09E-07
Selenium	Air	kg	1,59E-05	1,39E-05	1,56E-05	1,36E-05
Silicates, unspecified	Air	kg	7,17E-07	7,17E-07	7,17E-07	7,17E-07
Silicon	Air	kg	1,48E-03	1,38E-03	1,43E-03	1,33E-03
Silicon tetrafluoride	Air	kg	1,47E-07	1,41E-07	1,45E-07	1,39E-07
Silver	Air	kg	7,37E-09	6,22E-09	7,19E-09	6,04E-09
Silver-110	Air	Bq	2,16E-05	1,75E-05	1,95E-05	1,55E-05
Sodium	Air	kg	8,23E-04	7,87E-04	8,38E-04	8,02E-04
Sodium chlorate	Air	kg	4,15E-07	3,46E-07	3,93E-07	3,25E-07
Sodium dichromate	Air	kg	7,23E-07	6,80E-07	7,08E-07	6,65E-07
Sodium formate	Air	kg	1,37E-08	1,20E-08	1,31E-08	1,14E-08
Sodium hydroxide	Air	kg	1,34E-06	1,01E-06	1,28E-06	9,37E-07
Strontium	Air	kg	2,20E-05	2,03E-05	2,12E-05	1,95E-05
Strontium-89	Air	Bq	1,72E-07	1,72E-07	1,72E-07	1,72E-07
Strontium-90	Air	Bq	9,85E-05	9,85E-05	9,85E-05	9,85E-05
Styrene	Air	kg	8,05E-07	6,71E-07	7,48E-07	6,13E-07
Sulfate	Air	kg	1,34E-01	1,13E-01	1,27E-01	1,05E-01

Quadro 25: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compartment	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Sulfur dioxide	Air	kg	1,20E+00	1,01E+00	1,12E+00	9,27E-01
Sulfur hexafluoride	Air	kg	7,39E-06	6,29E-06	7,04E-06	5,93E-06
Sulfur oxides	Air	kg	2,42E-03	2,42E-03	2,42E-03	2,42E-03
Sulfur trioxide	Air	kg	2,11E-03	2,11E-03	2,11E-03	2,11E-03
Sulfuric acid	Air	kg	2,81E-07	2,11E-07	2,67E-07	1,96E-07
t-Butyl methyl ether	Air	kg	4,12E-07	3,34E-07	3,85E-07	3,07E-07
Technetium-99	Air	Bq	4,18E-09	4,18E-09	4,18E-09	4,18E-09
Tellurium-123m	Air	Bq	4,24E-07	4,24E-07	4,24E-07	4,24E-07
Terpenes	Air	kg	1,06E-02	4,09E-03	6,49E-03	2,10E-06
Thallium	Air	kg	1,97E-07	1,77E-07	1,82E-07	1,62E-07
Thorium	Air	kg	1,74E-07	1,63E-07	1,67E-07	1,57E-07
Thorium-228	Air	Bq	8,52E-01	7,70E-01	8,22E-01	7,40E-01
Thorium-230	Air	Bq	8,71E+01	7,30E+01	8,20E+01	6,79E+01
Thorium-232	Air	Bq	1,66E+00	1,43E+00	1,58E+00	1,35E+00
Thorium-234	Air	Bq	2,96E-01	2,50E-01	2,78E-01	2,32E-01
Tin	Air	kg	1,14E-05	9,92E-06	1,07E-05	9,20E-06
Titanium	Air	kg	3,75E-05	3,40E-05	3,56E-05	3,20E-05
Toluene	Air	kg	1,92E-02	8,32E-03	1,23E-02	1,38E-03
Uranium	Air	kg	2,12E-07	2,02E-07	2,06E-07	1,95E-07
Uranium-234	Air	Bq	8,94E+01	7,50E+01	8,42E+01	6,98E+01
Uranium-235	Air	Bq	1,67E-01	1,41E-01	1,56E-01	1,31E-01
Uranium-238	Air	Bq	9,17E+01	7,70E+01	8,65E+01	7,18E+01
Uranium alpha	Air	Bq	1,61E+01	1,36E+01	1,51E+01	1,26E+01
Vanadium	Air	kg	9,65E-04	9,04E-04	1,05E-03	9,89E-04
VOC, volatile organic compounds	Air	kg	1,47E-05	1,47E-05	1,47E-05	1,47E-05
Water	Air	kg	1,79E-02	1,47E-02	1,68E-02	1,37E-02
Xenon-131m	Air	Bq	2,01E+02	1,64E+02	1,83E+02	1,46E+02
Xenon-133	Air	Bq	7,17E+03	5,83E+03	6,51E+03	5,18E+03

Quadro 26: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compárt.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Xenon-133m	Air	Bq	1,14E+01	9,39E+00	1,06E+01	8,54E+00
Xenon-135	Air	Bq	2,88E+03	2,34E+03	2,62E+03	2,08E+03
Xenon-135m	Air	Bq	1,79E+03	1,46E+03	1,63E+03	1,29E+03
Xenon-137	Air	Bq	5,27E+01	4,27E+01	4,76E+01	3,77E+01
Xenon-138	Air	Bq	4,01E+02	3,26E+02	3,63E+02	2,88E+02
Xylene	Air	kg	5,54E-03	2,83E-03	3,74E-03	1,03E-03
Zinc	Air	kg	7,86E-04	6,53E-04	7,22E-04	5,89E-04
Zinc-65	Air	Bq	4,16E-04	3,37E-04	3,76E-04	2,97E-04
Zirconium	Air	kg	2,84E-07	2,32E-07	2,51E-07	1,99E-07
Zirconium-95	Air	Bq	4,06E-04	3,29E-04	3,67E-04	2,90E-04
1,4-Butanediol	Water	kg	1,11E-09	8,29E-10	1,05E-09	7,73E-10
4-Methyl-2-pentanone	Water	kg	1,37E-10	1,08E-10	1,22E-10	9,30E-11
Acenaphthene	Water	kg	3,60E-08	2,79E-08	3,20E-08	2,39E-08
Acenaphthylene	Water	kg	2,53E-07	2,53E-07	2,53E-07	2,52E-07
Acetaldehyde	Water	kg	1,59E-06	1,19E-06	1,51E-06	1,11E-06
Acetic acid	Water	kg	9,73E-06	7,22E-06	8,63E-06	6,12E-06
Acetone	Water	kg	3,27E-10	2,58E-10	2,90E-10	2,22E-10
Acidity, unspecified	Water	kg	4,80E-06	3,46E-06	4,18E-06	2,84E-06
Acids, unspecified	Water	kg	1,52E-08	1,52E-08	1,52E-08	1,52E-08
Acrylate, ion	Water	kg	3,17E-07	2,37E-07	3,01E-07	2,21E-07
Actinides, radioactive, unspecified	Water	Bq	3,30E+00	2,81E+00	3,11E+00	2,63E+00
Aluminum	Water	kg	8,51E-02	7,22E-02	8,00E-02	6,71E-02
Americium-241	Water	Bq	2,47E-04	2,47E-04	2,47E-04	2,47E-04
Ammonia, as N	Water	kg	6,38E-06	6,38E-06	6,38E-06	6,38E-06
Ammonium, ion	Water	kg	1,06E-02	9,98E-03	1,17E-02	1,11E-02
Antimony	Water	kg	9,45E-05	7,82E-05	9,16E-05	7,53E-05
Antimony-122	Water	Bq	6,22E-03	5,04E-03	5,62E-03	4,44E-03
Antimony-124	Water	Bq	7,20E-01	6,04E-01	6,70E-01	5,54E-01

Quadro 27: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Ração CW - CW	Ração CW - SO	Ração SO - CW	Ração SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Antimony-125	Water	Bq	6,54E-01	5,47E-01	6,08E-01	5,01E-01
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	Water	kg	1,17E-05	8,98E-06	1,07E-05	7,99E-06
Arsenic, ion	Water	kg	1,05E-03	8,76E-04	9,83E-04	8,14E-04
Barite	Water	kg	2,47E-02	2,11E-02	2,36E-02	2,00E-02
Barium	Water	kg	5,92E-03	4,65E-03	5,31E-03	4,04E-03
Barium-140	Water	Bq	2,72E-02	2,21E-02	2,46E-02	1,95E-02
Benzene	Water	kg	4,70E-04	3,62E-04	4,16E-04	3,08E-04
Benzene, 1,2-dichloro-	Water	kg	3,72E-07	2,79E-07	3,53E-07	2,60E-07
Benzene, chloro-	Water	kg	7,69E-06	5,76E-06	7,30E-06	5,36E-06
Benzene, ethyl-	Water	kg	1,39E-04	1,08E-04	1,23E-04	9,23E-05
Beryllium	Water	kg	6,98E-06	5,95E-06	6,68E-06	5,65E-06
BOD5, Biological Oxygen Demand	Water	kg	1,14E+00	9,28E-01	1,03E+00	8,21E-01
Boron	Water	kg	9,35E-04	7,87E-04	8,90E-04	7,41E-04
Bromate	Water	kg	4,67E-05	3,68E-05	4,29E-05	3,31E-05
Bromine	Water	kg	4,27E-03	3,32E-03	3,81E-03	2,86E-03
Butanol	Water	kg	8,72E-07	6,53E-07	8,28E-07	6,08E-07
Butene	Water	kg	3,68E-07	3,05E-07	3,90E-07	3,28E-07
Butyl acetate	Water	kg	1,13E-06	8,49E-07	1,08E-06	7,91E-07
Butyrolactone	Water	kg	1,92E-09	1,44E-09	1,82E-09	1,34E-09
Cadmium-109	Water	Bq	1,77E-08	1,77E-08	1,77E-08	1,77E-08
Cadmium, ion	Water	kg	4,18E-04	3,50E-04	3,93E-04	3,25E-04
Calcium, ion	Water	kg	1,56E+01	1,31E+01	1,47E+01	1,22E+01
Carbon-14	Water	Bq	1,25E-02	1,25E-02	1,25E-02	1,25E-02
Carbonate	Water	kg	1,64E-04	1,30E-04	1,52E-04	1,18E-04
Carboxylic acids, unspecified	Water	kg	2,45E-02	1,91E-02	2,18E-02	1,65E-02
Cerium-141	Water	Bq	1,09E-02	8,82E-03	9,83E-03	7,78E-03
Cerium-144	Water	Bq	8,99E-03	8,37E-03	8,67E-03	8,05E-03
Cesium	Water	kg	5,78E-06	4,49E-06	5,14E-06	3,85E-06

Quadro 28: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Cesium-134	Water	Bq	4,34E-01	3,70E-01	4,10E-01	3,47E-01
Cesium-136	Water	Bq	1,93E-03	1,57E-03	1,75E-03	1,38E-03
Cesium-137	Water	Bq	3,82E+02	3,26E+02	3,60E+02	3,04E+02
Chlorate	Water	kg	3,82E-04	3,03E-04	3,52E-04	2,73E-04
Chloride	Water	kg	4,79E+01	3,98E+01	4,49E+01	3,68E+01
Chlorinated solvents, unspecified	Water	kg	2,94E-07	2,34E-07	2,74E-07	2,14E-07
Chlorine	Water	kg	3,46E-05	3,25E-05	3,37E-05	3,16E-05
Chloroform	Water	kg	1,82E-08	1,38E-08	1,73E-08	1,29E-08
Chromium	Water	kg	1,32E-07	1,32E-07	1,32E-07	1,32E-07
Chromium-51	Water	Bq	2,17E+00	1,76E+00	1,97E+00	1,56E+00
Chromium VI	Water	kg	2,18E-03	1,77E-03	1,93E-03	1,52E-03
Chromium, ion	Water	kg	5,21E-04	4,35E-04	4,89E-04	4,03E-04
Cobalt	Water	kg	7,18E-04	6,40E-04	6,75E-04	5,98E-04
Cobalt-57	Water	Bq	6,13E-02	4,97E-02	5,54E-02	4,38E-02
Cobalt-58	Water	Bq	1,07E+01	8,80E+00	9,80E+00	7,88E+00
Cobalt-60	Water	Bq	9,24E+00	7,58E+00	8,44E+00	6,78E+00
COD, Chemical Oxygen Demand	Water	kg	1,26E+00	1,03E+00	1,14E+00	9,14E-01
Copper, ion	Water	kg	1,10E-03	9,09E-04	1,03E-03	8,33E-04
Cumene	Water	kg	8,13E-05	5,93E-05	6,95E-05	4,75E-05
Curium alpha	Water	Bq	3,28E-04	3,28E-04	3,28E-04	3,28E-04
Cyanide	Water	kg	1,38E-04	1,15E-04	1,27E-04	1,04E-04
Dichromate	Water	kg	2,35E-06	2,19E-06	2,29E-06	2,14E-06
DOC, Dissolved Organic Carbon	Water	kg	4,01E-01	3,28E-01	3,64E-01	2,91E-01
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Water	kg	2,82E-11	2,82E-11	2,82E-11	2,82E-11
Ethane, 1,2-dichloro-	Water	kg	1,53E-04	1,28E-04	1,44E-04	1,19E-04
Ethane, dichloro-	Water	kg	8,51E-10	8,51E-10	8,51E-10	8,51E-10
Ethane, hexachloro-	Water	kg	1,87E-14	1,87E-14	1,87E-14	1,87E-14
Ethanol	Water	kg	2,01E-06	1,50E-06	1,90E-06	1,40E-06

Quadro 29: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Ethene	Water	kg	2,93E-05	2,14E-05	2,49E-05	1,71E-05
Ethene, chloro-	Water	kg	4,37E-08	4,00E-08	4,29E-08	3,91E-08
Ethene, tetrachloro-	Water	kg	2,23E-12	2,23E-12	2,23E-12	2,23E-12
Ethene, trichloro-	Water	kg	1,41E-10	1,41E-10	1,41E-10	1,41E-10
Ethyl acetate	Water	kg	1,37E-10	1,03E-10	1,30E-10	9,55E-11
Ethylene diamine	Water	kg	1,79E-09	1,03E-09	1,51E-09	7,45E-10
Ethylene oxide	Water	kg	1,51E-07	1,13E-07	1,44E-07	1,06E-07
Fatty acids as C	Water	kg	2,44E-05	2,44E-05	2,44E-05	2,44E-05
Fluoride	Water	kg	1,81E-01	1,50E-01	1,71E-01	1,40E-01
Fluosilicic acid	Water	kg	1,84E-05	1,51E-05	1,62E-05	1,29E-05
Formaldehyde	Water	kg	5,57E-06	4,23E-06	4,83E-06	3,48E-06
Glutaraldehyde	Water	kg	3,05E-06	2,60E-06	2,91E-06	2,47E-06
Heat, waste	Water	MJ	1,40E+02	1,13E+02	1,28E+02	1,01E+02
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	Water	kg	7,52E-04	5,83E-04	6,69E-04	5,00E-04
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspecified	Water	kg	5,84E-08	5,84E-08	5,84E-08	5,84E-08
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	Water	kg	6,94E-05	5,38E-05	6,17E-05	4,61E-05
Hydrocarbons, aromatic	Water	kg	3,10E-03	2,41E-03	2,76E-03	2,06E-03
Hydrocarbons, unspecified	Water	kg	1,49E-03	1,41E-03	1,46E-03	1,38E-03
Hydrogen-3, Tritium	Water	Bq	8,69E+05	7,41E+05	8,21E+05	6,93E+05
Hydrogen peroxide	Water	kg	2,49E-05	2,41E-05	2,48E-05	2,40E-05
Hydrogen sulfide	Water	kg	1,08E-04	9,58E-05	1,04E-04	9,15E-05
Hydroxide	Water	kg	9,99E-06	7,48E-06	9,48E-06	6,97E-06
Hypochlorite	Water	kg	2,86E-05	2,45E-05	2,74E-05	2,33E-05
Hypochlorous acid	Water	kg	3,75E-08	3,75E-08	3,75E-08	3,75E-08
Iodide	Water	kg	5,82E-04	4,52E-04	5,18E-04	3,88E-04
Iodine-129	Water	Bq	3,58E-02	3,58E-02	3,58E-02	3,58E-02
Iodine-131	Water	Bq	1,50E-01	1,25E-01	1,39E-01	1,14E-01
Iodine-133	Water	Bq	1,71E-02	1,39E-02	1,55E-02	1,22E-02

Quadro 30: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Iron	Water	kg	1,17E-05	1,17E-05	1,17E-05	1,17E-05
Iron-59	Water	Bq	4,70E-03	3,81E-03	4,24E-03	3,36E-03
Iron, ion	Water	kg	6,80E-02	5,78E-02	6,46E-02	5,44E-02
Lanthanum-140	Water	Bq	2,90E-02	2,35E-02	2,62E-02	2,07E-02
Lead	Water	kg	5,70E-04	4,72E-04	5,32E-04	4,34E-04
Lead-210	Water	Bq	3,93E+04	3,29E+04	3,70E+04	3,06E+04
Lithium, ion	Water	kg	3,51E-05	2,78E-05	3,12E-05	2,38E-05
m-Xylene	Water	kg	9,91E-10	7,83E-10	8,79E-10	6,72E-10
Magnesium	Water	kg	7,29E-01	6,09E-01	6,85E-01	5,66E-01
Manganese	Water	kg	3,59E-03	3,27E-03	3,45E-03	3,14E-03
Manganese-54	Water	Bq	6,55E-01	5,40E-01	6,00E-01	4,84E-01
Mercury	Water	kg	7,88E-05	6,59E-05	7,41E-05	6,12E-05
Methane, dichloro-, HCC-30	Water	kg	6,74E-05	5,44E-05	6,15E-05	4,85E-05
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Water	kg	3,40E-12	3,40E-12	3,40E-12	3,40E-12
Methanol	Water	kg	4,04E-05	3,66E-05	4,22E-05	3,84E-05
Methyl acrylate	Water	kg	2,97E-06	2,22E-06	2,82E-06	2,07E-06
Methyl amine	Water	kg	6,93E-10	5,19E-10	6,58E-10	4,84E-10
Methyl formate	Water	kg	2,35E-10	1,76E-10	2,23E-10	1,64E-10
Molybdenum	Water	kg	5,53E-05	4,71E-05	5,27E-05	4,46E-05
Molybdenum-99	Water	Bq	9,99E-03	8,10E-03	9,03E-03	7,14E-03
Neptunium-237	Water	Bq	1,58E-05	1,58E-05	1,58E-05	1,58E-05
Nickel, ion	Water	kg	4,15E-03	3,58E-03	3,85E-03	3,28E-03
Niobium-95	Water	Bq	5,53E-02	4,55E-02	5,10E-02	4,12E-02
Nitrate	Water	kg	1,47E+01	1,82E+01	1,41E+01	1,76E+01
Nitrite	Water	kg	2,85E-04	2,81E-04	2,83E-04	2,79E-04
Nitrogen	Water	kg	2,86E-03	2,60E-03	3,23E-03	2,97E-03
Nitrogen, organic bound	Water	kg	1,04E-03	8,89E-04	9,73E-04	8,18E-04
Nitrogen, total	Water	kg	8,36E-06	8,36E-06	8,36E-06	8,36E-06

Quadro 31: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)



Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
o-Xylene	Water	kg	7,22E-10	5,71E-10	6,40E-10	4,90E-10
Oils, unspecified	Water	kg	3,36E-01	2,73E-01	3,04E-01	2,41E-01
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Water	kg	3,42E-05	2,70E-05	3,05E-05	2,33E-05
Paraffins	Water	kg	3,74E-10	3,06E-10	3,49E-10	2,81E-10
Phenol	Water	kg	5,48E-04	4,28E-04	4,89E-04	3,68E-04
Phenols, unspecified	Water	kg	6,42E-07	6,42E-07	6,42E-07	6,42E-07
Phosphate	Water	kg	1,68E+00	1,50E+00	1,52E+00	1,34E+00
Phosphorus	Water	kg	6,92E-04	5,79E-04	6,49E-04	5,35E-04
Phosphorus compounds, unspecified	Water	kg	3,29E-09	3,29E-09	3,29E-09	3,29E-09
Phthalate, dimethyl tere-	Water	kg	1,60E-10	1,60E-10	1,60E-10	1,60E-10
Phthalate, dioctyl-	Water	kg	2,88E-13	2,88E-13	2,88E-13	2,88E-13
Phthalate, p-dibutyl-	Water	kg	2,54E-11	2,54E-11	2,54E-11	2,54E-11
Plutonium-241	Water	Bq	5,80E-03	5,80E-03	5,80E-03	5,80E-03
Plutonium-alpha	Water	Bq	9,85E-04	9,85E-04	9,85E-04	9,85E-04
Polonium-210	Water	Bq	5,99E+04	5,02E+04	5,65E+04	4,68E+04
Potassium	Water	kg	2,72E-05	2,72E-05	2,72E-05	2,72E-05
Potassium-40	Water	Bq	4,75E+03	3,98E+03	4,48E+03	3,71E+03
Potassium, ion	Water	kg	5,94E-01	4,97E-01	5,59E-01	4,62E-01
Propene	Water	kg	7,40E-05	4,74E-05	6,12E-05	3,45E-05
Propylene oxide	Water	kg	5,34E-05	2,98E-05	4,25E-05	1,89E-05
Protactinium-234	Water	Bq	5,45E+00	4,61E+00	5,11E+00	4,27E+00
Radioactive species, alpha emitters	Water	Bq	3,01E+01	2,52E+01	2,83E+01	2,35E+01
Radioactive species, from fission and activation	Water	Bq	6,97E-04	6,97E-04	6,97E-04	6,97E-04
Radioactive species, Nuclides, unspecified	Water	Bq	1,98E+03	1,69E+03	1,87E+03	1,58E+03
Radium-224	Water	Bq	2,89E+02	2,24E+02	2,57E+02	1,92E+02
Radium-226	Water	Bq	4,81E+04	4,03E+04	4,53E+04	3,75E+04
Radium-228	Water	Bq	5,79E+02	4,49E+02	5,14E+02	3,85E+02
Rubidium	Water	kg	5,80E-05	4,50E-05	5,16E-05	3,86E-05

Quadro 32: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Ruthenium	Water	kg	4,74E-08	4,74E-08	4,74E-08	4,74E-08
Ruthenium-103	Water	Bq	2,11E-03	1,71E-03	1,91E-03	1,51E-03
Ruthenium-106	Water	Bq	5,97E-02	5,97E-02	5,97E-02	5,97E-02
Salts, unspecified	Water	kg	1,26E-05	1,26E-05	1,26E-05	1,26E-05
Scandium	Water	kg	1,82E-05	1,60E-05	1,75E-05	1,53E-05
Selenium	Water	kg	1,84E-05	1,56E-05	1,73E-05	1,45E-05
Silicon	Water	kg	1,36E+00	1,15E+00	1,28E+00	1,07E+00
Silver	Water	kg	3,14E-09	3,14E-09	3,14E-09	3,14E-09
Silver-110	Water	Bq	8,94E+00	7,33E+00	8,16E+00	6,55E+00
Silver, ion	Water	kg	5,30E-06	4,03E-06	4,69E-06	3,42E-06
Sodium-24	Water	Bq	7,57E-02	6,14E-02	6,84E-02	5,41E-02
Sodium formate	Water	kg	3,30E-08	2,88E-08	3,16E-08	2,74E-08
Sodium, ion	Water	kg	2,73E+01	2,27E+01	2,56E+01	2,10E+01
Solids, inorganic	Water	kg	6,47E-02	5,43E-02	6,14E-02	5,10E-02
Solved solids	Water	kg	4,39E-02	3,78E-02	4,08E-02	3,46E-02
Solved substances	Water	kg	4,68E-06	4,68E-06	4,68E-06	4,68E-06
Strontium	Water	kg	1,14E-02	8,92E-03	1,02E-02	7,71E-03
Strontium-89	Water	Bq	1,84E-01	1,50E-01	1,67E-01	1,33E-01
Strontium-90	Water	Bq	1,76E+03	1,47E+03	1,67E+03	1,38E+03
Sulfate	Water	kg	4,26E+01	3,57E+01	4,02E+01	3,33E+01
Sulfide	Water	kg	9,69E-06	7,74E-06	8,81E-06	6,85E-06
Sulfite	Water	kg	7,80E-05	6,67E-05	7,47E-05	6,35E-05
Sulfur	Water	kg	2,26E-01	1,89E-01	2,13E-01	1,76E-01
Sulfur trioxide	Water	kg	4,84E-08	4,84E-08	4,84E-08	4,84E-08
Suspended solids, unspecified	Water	kg	1,33E-01	1,12E-01	1,26E-01	1,05E-01
t-Butyl methyl ether	Water	kg	1,13E-05	9,28E-06	1,03E-05	8,26E-06
Technetium-99	Water	Bq	6,27E-03	6,27E-03	6,27E-03	6,27E-03
Technetium-99m	Water	Bq	2,30E-01	1,86E-01	2,08E-01	1,64E-01

Quadro 33: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Raço CW - CW	Raço CW - SO	Raço SO - CW	Raço SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Tellurium-123m	Water	Bq	5,94E-02	5,05E-02	5,59E-02	4,70E-02
Tellurium-132	Water	Bq	5,79E-04	4,69E-04	5,23E-04	4,14E-04
Thallium	Water	kg	1,49E-06	1,29E-06	1,41E-06	1,21E-06
Thorium-228	Water	Bq	1,64E+03	1,30E+03	1,48E+03	1,14E+03
Thorium-230	Water	Bq	7,43E+02	6,29E+02	6,98E+02	5,83E+02
Thorium-232	Water	Bq	7,06E-01	6,00E-01	6,73E-01	5,67E-01
Thorium-234	Water	Bq	5,45E+00	4,61E+00	5,11E+00	4,27E+00
Tin, ion	Water	kg	3,28E-05	2,73E-05	3,08E-05	2,53E-05
Titanium, ion	Water	kg	9,06E-03	7,22E-03	8,01E-03	6,17E-03
TOC, Total Organic Carbon	Water	kg	3,94E-01	3,21E-01	3,58E-01	2,84E-01
Toluene	Water	kg	7,32E-04	5,69E-04	6,51E-04	4,88E-04
Tributyltin	Water	kg	1,29E-07	1,29E-07	1,29E-07	1,29E-07
Tributyltin compounds	Water	kg	9,53E-06	7,81E-06	8,70E-06	6,98E-06
Triethylene glycol	Water	kg	3,12E-05	2,95E-05	3,31E-05	3,14E-05
Tungsten	Water	kg	1,15E-05	9,91E-06	1,11E-05	9,43E-06
Undissolved substances	Water	kg	3,72E-04	3,72E-04	3,72E-04	3,72E-04
Uranium-234	Water	Bq	6,54E+00	5,53E+00	6,14E+00	5,13E+00
Uranium-235	Water	Bq	1,08E+01	9,12E+00	1,01E+01	8,46E+00
Uranium-238	Water	Bq	2,02E+04	1,69E+04	1,90E+04	1,57E+04
Uranium alpha	Water	Bq	3,14E+02	2,65E+02	2,95E+02	2,46E+02
Vanadium, ion	Water	kg	8,22E-04	6,74E-04	7,38E-04	5,91E-04
VOC, volatile organic compounds as C	Water	kg	1,66E-06	1,66E-06	1,66E-06	1,66E-06
VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	Water	kg	2,04E-03	1,58E-03	1,81E-03	1,36E-03
Xylene	Water	kg	5,86E-04	4,56E-04	5,22E-04	3,92E-04
Yttrium-90	Water	Bq	3,53E-07	3,53E-07	3,53E-07	3,53E-07
Zinc-65	Water	Bq	1,03E+00	8,31E-01	9,27E-01	7,33E-01
Zinc, ion	Water	kg	1,07E-02	6,91E-03	8,99E-03	5,22E-03
Zirconium-95	Water	Bq	1,24E-02	1,01E-02	1,12E-02	8,99E-03

Quadro 34: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Ração CW - CW	Ração CW - SO	Ração SO - CW	Ração SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Food biomass waste, DK	Waste	kg	3,73E-02	3,73E-02	3,73E-02	3,73E-02
Oil waste	Waste	kg	6,57E-03	6,57E-03	6,57E-03	6,57E-03
Waste, unspecified	Waste	kg	3,17E+01	3,17E+01	3,17E+01	3,17E+01
Dejetos líquidos de suínos	Water	kg	8,95E+01	3,09E+02	3,05E+02	5,24E+02
2,4-D	Soil	kg	4,61E-06	4,42E-06	4,54E-06	4,36E-06
Aclonifen	Soil	kg	2,30E-07	1,82E-07	2,00E-07	1,52E-07
Aldrin	Soil	kg	5,41E-05	5,41E-05	5,41E-05	5,41E-05
Aluminum	Soil	kg	4,78E-03	4,26E-03	4,54E-03	4,02E-03
Antimony	Soil	kg	3,60E-10	2,87E-10	3,50E-10	2,77E-10
Arsenic	Soil	kg	5,57E-06	5,36E-06	5,47E-06	5,26E-06
Atrazine	Soil	kg	1,42E-05	1,42E-05	1,42E-05	1,42E-05
Barium	Soil	kg	1,33E-03	1,07E-03	1,21E-03	9,56E-04
Benomyl	Soil	kg	6,97E-09	5,81E-09	6,55E-09	5,39E-09
Bentazone	Soil	kg	1,17E-07	9,31E-08	1,02E-07	7,78E-08
Boron	Soil	kg	4,26E-05	3,64E-05	3,98E-05	3,36E-05
Cadmium	Soil	kg	1,92E-03	1,52E-03	1,84E-03	1,44E-03
Calcium	Soil	kg	3,69E-02	3,48E-02	3,60E-02	3,38E-02
Carbetamide	Soil	kg	4,22E-08	3,35E-08	3,67E-08	2,81E-08
Carbofuran	Soil	kg	3,82E-06	3,18E-06	3,59E-06	2,95E-06
Carbon	Soil	kg	1,38E-02	1,22E-02	1,31E-02	1,15E-02
Chloride	Soil	kg	3,12E-01	1,69E-01	2,61E-01	1,17E-01
Chlorothalonil	Soil	kg	6,99E-07	5,63E-07	6,48E-07	5,12E-07
Chromium	Soil	kg	3,17E-03	2,62E-03	3,01E-03	2,46E-03
Chromium VI	Soil	kg	9,01E-05	8,42E-05	8,79E-05	8,20E-05
Cobalt	Soil	kg	1,72E-06	1,72E-06	1,72E-06	1,72E-06
Copper	Soil	kg	8,93E-04	2,73E-03	2,80E-03	4,64E-03
Cypermethrin	Soil	kg	5,41E-07	4,50E-07	5,08E-07	4,18E-07
Fenpiclonil	Soil	kg	3,54E-08	2,85E-08	3,24E-08	2,54E-08

Quadro 35: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Ração CW - CW	Ração CW - SO	Ração SO - CW	Ração SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Fluoride	Soil	kg	1,94E-04	1,64E-04	1,81E-04	1,51E-04
Glyphosate	Soil	kg	4,97E-05	5,04E-05	4,28E-05	4,35E-05
Heat, waste	Soil	MJ	3,01E+01	2,94E+01	2,99E+01	2,92E+01
Iron	Soil	kg	6,64E-02	7,54E-02	5,60E-02	6,50E-02
Lead	Soil	kg	8,70E-03	6,52E-03	8,51E-03	6,34E-03
Linuron	Soil	kg	1,36E-05	1,32E-05	1,34E-05	1,30E-05
Magnesium	Soil	kg	5,10E-03	4,68E-03	4,91E-03	4,49E-03
Mancozeb	Soil	kg	9,08E-07	7,32E-07	8,41E-07	6,65E-07
Manganese	Soil	kg	1,92E-03	1,89E-03	1,91E-03	1,88E-03
Mercury	Soil	kg	2,76E-08	2,70E-08	2,73E-08	2,67E-08
Metaldehyde	Soil	kg	8,12E-09	6,46E-09	7,08E-09	5,41E-09
Metolachlor	Soil	kg	1,28E-05	1,02E-05	1,11E-05	8,50E-06
Metribuzin	Soil	kg	3,20E-08	2,58E-08	2,96E-08	2,34E-08
Molybdenum	Soil	kg	3,92E-07	3,90E-07	3,91E-07	3,89E-07
Napropamide	Soil	kg	1,44E-08	1,14E-08	1,25E-08	9,58E-09
Nickel	Soil	kg	3,29E-03	2,05E-03	3,18E-03	1,93E-03
Nitrogen	Soil	kg	5,14E-09	5,14E-09	5,14E-09	5,14E-09
Oils, biogenic	Soil	kg	5,60E-04	6,12E-04	5,02E-04	5,54E-04
Oils, unspecified	Soil	kg	3,80E-01	3,11E-01	3,46E-01	2,77E-01
Orbencarb	Soil	kg	1,73E-07	1,39E-07	1,60E-07	1,26E-07
Phosphorus	Soil	kg	1,02E-03	9,90E-04	1,01E-03	9,78E-04
Phosphorus, total	Soil	kg	2,53E-07	2,53E-07	2,53E-07	2,53E-07
Pirimicarb	Soil	kg	1,11E-08	8,81E-09	9,64E-09	7,36E-09
Potassium	Soil	kg	5,85E-03	5,66E-03	5,77E-03	5,58E-03
Silicon	Soil	kg	8,09E-03	8,01E-03	8,06E-03	7,98E-03
Sodium	Soil	kg	6,19E-03	4,74E-03	5,63E-03	4,18E-03
Strontium	Soil	kg	2,68E-05	2,17E-05	2,45E-05	1,93E-05
Sulfur	Soil	kg	2,62E-03	2,31E-03	2,48E-03	2,16E-03

Quadro 36: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (continuação)

Substance	Compart.	Unit	Ração CW - CW	Ração CW - SO	Ração SO - CW	Ração SO - SO
<b>OUTPUTS</b>						
Sulfuric acid	Soil	kg	1,74E-10	1,30E-10	1,65E-10	1,21E-10
Tebutam	Soil	kg	3,41E-08	2,71E-08	2,97E-08	2,27E-08
Teflubenzuron	Soil	kg	2,13E-09	1,72E-09	1,97E-09	1,56E-09
Thiram	Soil	kg	1,24E-08	1,03E-08	1,16E-08	9,56E-09
Tin	Soil	kg	1,44E-07	1,41E-07	1,43E-07	1,40E-07
Titanium	Soil	kg	1,25E-04	1,24E-04	1,25E-04	1,24E-04
Vanadium	Soil	kg	3,57E-06	3,56E-06	3,56E-06	3,56E-06
Zinc	Soil	kg	2,18E-03	4,48E-03	4,67E-03	6,97E-03

Quadro 37: ICV dos quatro cenários sob a forma sistêmica (conclusão)